Zur Geschichte der Untersuchung über die absolute Muskelkraft

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Manfred Havener

Saarbrücken

1970

Druck:
Universitätsbibliothek Saarbrücken

Aus dem Institut für Biomechanik der Deutschen Sporthochschule Köln

Direktor: Prof. Dr. med. H. Groh

ZUR GESCHICHTE DER UNTERSUCHUNG ÜBER DIE ABSOLUTE MUSKELKRAFT.

I N A U G U R A L D I S S E R T A T I O N
zur Erlangung der Doktorwürde der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

1970

vorgelegt von

Manfred Havener
geb. am 19.6.41 in Saarlouis

Dekan: Prof. Dr. med. G. Dhom
Referent: Prof. Dr. med. H. Groh

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Promotionsprüfung wurde am 12.1o.7o abgelegt.

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Inhalt

1.) EINLEITUNG Seite 3

2.) VORBEMERKUNGEN Seite 4 - 12

2.1.) Der Begriff der absoluten Muskelkraft

2.2.) Der Zusammenhang zwischen Fiederungswinkel und Muskelkraft

2.3.) Der Zusammenhang zwischen Fiederungswinkel und Muskelquerschnitt

2.4.) Der Zusammenhang zwischen Muskellänge und Muskelkraft

2.5.) Der Zusammenhang zwischen Muskellänge und Muskelquerschnitt

2.6.) Definition der absoluten Muskelkraft und Voraussetzungen zu ihrer Bestimmung

3.) ZUR GESCHICHTE DER UNTERSUCHUNG ÜBER DIE ABSOLUTE MUSKELKRAFT

Methoden und Ergebnisse der Untersuchungen in chronologischer Reihenfolge Seite 13 - 73

WEBER (1846), HENKE (1865),
KOSTER (1867), BUCHNER (1877),
ROSENTHAL (1895), HERMANN (1898),
GROHMANN (1902), REYS (1915 u. 1921),
VON RECKLINGHAUSEN (1920), FRANKE (1920),
HAXTON (1944), MORRIS (1948),
VON LANZ und HENNING (1953), LIPPERT (1959),
HETTINGER (1960), SCHUMACHER (1966),
IKAI und FUKANAGA (1968), Tab. 25.

4.)	DISKUSSION	Seite 74 - 83
5.)	ZUSAMMENFASSUNG	Seite 84
6.1	Verzeichnis der Tabellen	Seite 85 - 87
6.2	Verzeichnis der Abbildungen	Seite 88 - 89
7.)	LITERATURVERZEICHNIS	Seite 90 - 94

1.) EINLEITUNG

Von 1846 (WEBER, E.) bis 1968 (IKAI und FUKANAGA) sind zahlreiche Untersuchungen vorgenommen worden, welche die Bestimmung der absoluten Muskelkraft zum Ziele hatten. Die einzelnen Definitionen, Untersuchungsmethoden und Ergebnisse unterscheiden sich teilweise beträchtlich. Aufgabe der vorliegenden Arbeit soll es sein, anhand der vorhandenen Literatur folgende Fragen zu beantworten:

1.) Welche Methoden wurden bei der Bestimmung der absoluten Muskelkraft angewandt?

2.) Ist die absolute Muskelkraft eines bestimmten Muskels für alle Menschen gleich, unabhängig von Alter, Geschlecht und Trainingszustand der Versuchsperson?

3.) Weist die absolute Muskelkraft für alle Muskeln des Menschen denselben Wert auf?

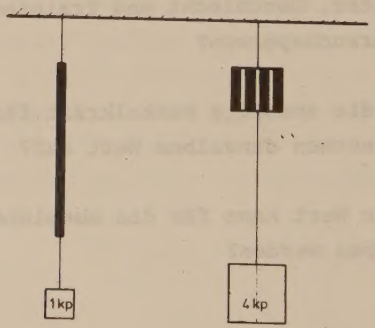
4.) Welcher Wert kann für die absolute Muskelkraft angegeben werden?

2.) VORBEMERKUNGEN

2.1.) Der Begriff der absoluten Muskelkraft

Bereits WEBER, E. (1846) schrieb, daß die Muskelkraft vom Querschnitt des Muskels und nicht von seiner Länge abhängt. Anhand von Gummifäden zeigten dies auch FICK, R. (1910) und SCHINDLER, D. (1953). Physikalisch hängt bei einem Körper die Zugkraft nicht von der Länge, sondern von dem Querschnitt des Körpers ab. Bei einem Gummiseil z.B. ist innerhalb des Hooke'schen Gesetzes die Zugkraft abhängig vom Querschnitt dieses Seils und nicht von seiner Länge. So meinte FICK mit Recht, daß die Größe der Muskelkraft bei gegebener Anregung außerhalb der qualitativen Beschaffenheit des Muskels nur von dessen Querschnitt, aber nicht von seiner Länge abhänge. Jeder Muskel würde, wenn er doppelt so dick wäre, auch die doppelte Kraft ausüben. Die Kraft würde aber gleich bleiben, auch wenn der Muskel 10 mal so lang wäre (Abb. 1).

Abbildung 1



Die Zugkraft von 4 parallel geschalteten Gummifäden ist 4 mal größer als die Zugkraft von 4 hintereinander geschalteten gleich dicken Gummifäden

Um die Abhängigkeit der Muskelkraft (K) vom Querschnitt (Q) für absolute Berechnungen auswerten zu können, wurde eine Bezugsgröße eingeführt, die sogenannte absolute Muskelkraft (Ka). Darunter versteht man die Kraft pro cm^2 Muskelquerschnitt ($Ka = \frac{K}{Q}$). Um die aktuelle Kraft jedes einzelnen Muskels zu kennen, wäre es nur notwendig, seinen Querschnitt zu bestimmen und diesen Wert mit dem Wert der absoluten Muskelkraft zu multiplizieren.

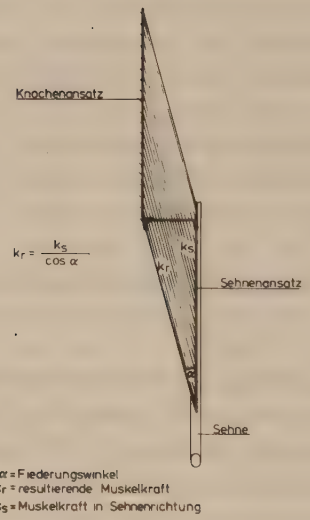
2.2.) Der Zusammenhang zwischen Fiederungswinkel und Muskelkraft

Es gibt parallelfaserige und gefiederte Muskeln. Beim parallelfaserigen Muskel sind dabei die Verhältnisse für die Kraftbestimmung einfach, da die gesamte Muskelkraft in Sehnenrichtung wirkt: $K = Ka \cdot Q$. Bei den Kraftberechnungen am gefiederten Muskel ist darauf zu achten, daß für alle Fleischfasern, die unter einem Winkel (Fiederungswinkel α) an die Sehne herantreten, der in Sehnenrichtung wirksame Anteil ihrer Kraft immer kleiner sein wird als für gleichwertige, aber in Sehnenrichtung wirkende Fasern. Diese in Sehnenrichtung wirkende Kraft Ks errechnet sich, indem man in die Kraftformel $K = Ka \cdot Q$ den sogenannten "Schrägheitsfaktor" einführt, d.h. den cosinus des Fiederungswinkels α: $Ks = Ka \cdot \cos\alpha \cdot Q$. Umgekehrt muß man, um die resultierende Muskelkraft Kr zu erhalten, die gemessene "Sehnenkraft" Ks durch den Schrägheitsfaktor ($\cos\alpha$) dividieren:

$$Kr = \frac{Ks}{\cos\alpha}$$

Für die absolute Muskelkraft Ka gefiederter Muskeln ergibt sich demnach $Ka = \frac{Kr}{Q} = \frac{Ks}{\cos\alpha \cdot Q}$

Abbildung 2



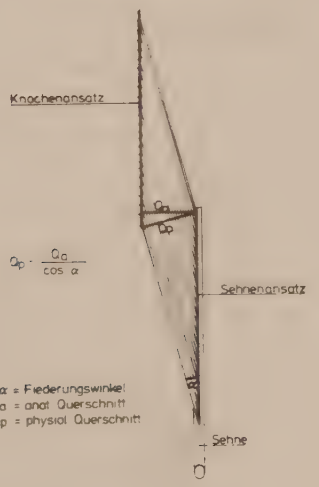
Die Beziehung zwischen resultierender Muskelkraft Kr und Muskelkraft in Sehnenrichtung Ks bei gefiederten Muskeln

2.3.) Der Zusammenhang zwischen Fiederungswinkel und Muskelquerschnitt

PFUHL, W. (1937) bewies, daß die resultierende Kraft im gefiederten Muskel ebenso wie im parallelfaserigen Muskel nur vom *physiologischen* Querschnitt des Muskels abhängt, d.h. von der Zahl seiner Muskelfasern. Die Gesamtkraft eines Muskels resultiert also aus der Kraftsumme seiner Einzelfasern. Somit besteht also eine direkte Beziehung zwischen dem *physiologischen* Querschnitt Qp eines Muskels und seiner Kraft. $Ka = \frac{Kr}{Qp} = \frac{Ks}{\cos \alpha \cdot Qp}$

Durch einen Schnitt quer zur Sehnenverlaufsrichtung erhält man den *anatomischen* Querschnitt (Qa). Beim parallelfaserigen Muskel werden dabei alle Fasern getroffen. Bei gefiederten Muskeln trifft das nicht zu. Der *anatomische* Querschnitt - senkrecht zur Sehnenrichtung - ergibt nicht den wahren Muskelquerschnitt. Weil die Muskelfasern einen Winkel zur Sehnenzugrichtung bilden, müssen die Muskeln in einem bestimmten Winkel zur Sehnenrichtung durchtrennt werden. Die Schnittrichtung wird bestimmt durch den Fiederungswinkel. Der Schnitt trifft alle Muskelfasern senkrecht, wenn er um den Fiederungswinkel von der Senkrechten zur Sehnenrichtung abweicht. Den so erhaltenen Querschnitt nennt man den *physiologischen Querschnitt* (Qp). Beim parallelfaserigen Muskel fallen anatomischer Querschnitt Qa und physiologischer Querschnitt Qp zusammen. Beim gefiederten Muskel ist der anatomische Querschnitt Qa stets kleiner als der physiologische Querschnitt Qp. So besteht die Beziehung $\cos \alpha = \frac{Qa}{Qp}$ und $Qp = \frac{Qa}{\cos \alpha}$

Abbildung 3



Die Beziehung zwischen anatomischem Querschnitt Qa und physiologischem Querschnitt Qp bei gefiederten Muskeln

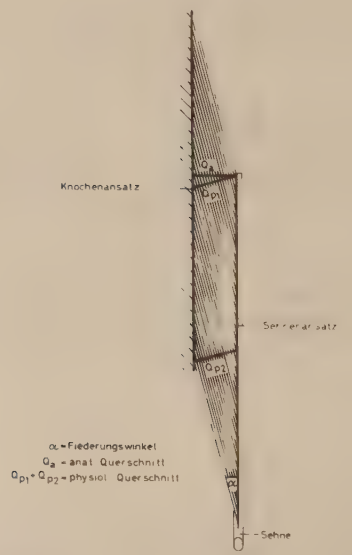
Für die absolute Muskelkraft ($Ka = \frac{Ks}{\cos \alpha \cdot Qp}$) ergibt sich demnach zunächst rechnerisch, daß sich die absolute Muskelkraft Ka aus dem anatomischen Querschnitt Qa und der Muskelkraft in Sehnenrichtung Ks berechnen läßt.

$$Ka = \frac{Ks}{\cos \alpha \cdot \frac{Qa}{\cos \alpha}} = \frac{Ks}{Qa}$$

Damit könnte man sich sowohl die schwierige, wenn nicht unmögliche Bestimmung des physiologischen Muskelquerschnitts Qp beim gefiederten Muskel wie auch die Umrechnung der Muskelkraft in Sehnenrichtung Ks auf die resultierende Muskelkraft Kr ersparen.

Das trifft allerdings nur zu auf den Sonderfall, daß der Muskel schmal ist, also nur kurze Muskelfasern besitzt, und daß es sich um keinen langen, sondern nur um einen kurzen Muskel handelt, bei dem mit einer einzigen Bestimmung des physiologischen Muskelquerschnitts Qp alle Muskelfasern mit ihrem Querschnitt erfaßt sind. Handelt es sich - wie es die Regel ist - um einen langen, gefiederten Muskel, so geht mehr als ein physiologischer Querschnitt Qp in die Rechnung ein (Abb. 4).

Abbildung 4



Der physiologische Muskelquerschnitt Qp bei gefiederten Muskeln großer Länge

Der physiologische Muskelquerschnitt Qp geht also mit einem zusätzlichen Faktor in die Rechnung ein. Die Größe dieses zahlenmäßigen Faktors wird einmal bestimmt durch die Gesamtlänge des gefiederten Muskels, andererseits durch die Länge seiner Muskelfasern, also der "Breite" des Muskels. Aus diesen Gründen muß der Fiederungswinkel also sowohl bei der Kraftberechnung (Kr) wie bei der Querschnittsbestimmung (Qp) berücksichtigt werden: $Ka = \frac{Kr}{Qp} = \frac{Ks}{\cos \alpha \cdot Qp}$

2.4.) Der Zusammenhang zwischen Muskellänge und Muskelkraft

SCHWANN (1837, zit. nach WEBER) erkannte, daß die Kraft eines entnommenen Muskels mit seiner Verkürzung abnimmt und bei größter Verkürzung Null wird. BECK (1922) hat experimentell festgestellt, daß der Muskel seine größte Kraft bei seiner größten Länge entwickelt. Der Froschgastrocnemius erzielte die höchsten Kraftwerte bei Dorsalflexion, die niedrigsten Werte bei Spitzfußstellung und die Mittelwerte bei 90 ^{o} Beugestellung des Fußes.
Wenn der Muskel seine Maximalkraft bei physiologischer Dehnung hat und die Muskelkraft mit zunehmender Verkürzung abnimmt, dann sollte man die absolute Muskelkraft bei physiologischer Dehnung des untersuchten Muskels bestimmen. Bestimmungen über das Verhalten der Kraft gesunder menschlicher Muskeln auf ihrem Verkürzungswege fehlen aber fast vollkommen. Die Forscher haben sich bei den in der Literatur vorliegenden Untersuchungen auf die Festlegung der Muskelkraft bei einer bestimmten Gelenkstellung beschränkt, um eine Bestimmung der absoluten Muskelkraft durchführen zu können. Es herrscht keine Einigkeit darüber, bei welcher Muskellänge man die absolute Muskelkraft bestimmen soll. WEBER (1846) nannte die absolute Muskelkraft die Kraft von 1 cm^2 Muskelquerschnitt bei Beginn der Kontraktion. Er sagte nichts darüber aus, wohin dieser Beginn zu verlegen sei.

Er bestimmte z.B. die absolute Muskelkraft der Fußbeuger nicht bei ihrer Dehnung, sondern bei annähernd mittlerer Muskellänge. Auch KNORZ (1865) zit. nach HENKE) wählte eine willkürliche Mittelstellung der Unterarmbeuger und der Fußheber. HENKE (1865) definierte die absolute Muskelkraft als diejenige Muskelkraft, die 1 cm^2 Muskelquerschnitt unter mittleren Umständen ausübt. Auch bei späteren Autoren finden sich ähnliche Auffassungen. Die absolute Muskelkraft wird nicht bei Maximalkraft des Muskels, sondern bei mittlerer Kraft berechnet. Das gilt auch für FICK, R. (1910), der sagte, daß die Kraft des Muskels seinem Querschnitt proportional sei. Die absolute Muskelkraft soll bei mittlerer Faserlänge und maximaler Innervation rund 10 kp/cm^2 betragen. Auch HERMANN (1898) verzichtete auf die Definition einer bestimmten Gelenkstellung - also eine definierte Muskellänge -, in der allein der Muskel Maximalkraft hat. Die absolute Muskelkraft wurde definiert als das Maximum der Spannung, welche der Muskel erreichen kann ohne seine natürliche Länge zu ändern. REYS (1915) gab als Definition, die absolute Muskelkraft sei die größte Kraft unter Einfluß des Willens, die im Verlauf der Kontraktion in der Längsrichtung der Sehne ausgeübt werden kann. Bei dieser Definition wird der Bezug auf die Einheit des Querschnitts vermißt. FRANKE (1920) legte die absolute Muskelkraft fest als die Maximalkraft pro 1 cm^2 der physiologischen Querschnittsfläche, welche der Muskel bei maximaler Innervation und günstigster Länge auszuüben imstande ist. REYS (1921) korrigierte FRANKE dahin, daß es doppelt ausgedrückt sei, wenn einmal von der Maximalkraft des Muskels gesprochen würde und dann zusätzlich von der günstigsten Länge. Die günstigste Länge sei doch in dem Begriff Maximalkraft bereits enthalten. Es sei darum besser, die absolute Muskelkraft als die Maximalkraft pro 1 cm^2 Querschnittsfläche im Verlauf der Kontraktion des Muskels festzulegen. BECK (1922) definierte die absolute Muskelkraft folgendermaßen: "Die absolute Muskel-

kraft ist der maximale Spannungszuwachs, bezogen auf die Einheit des Muskelquerschnittes, welcher bei maximaler Erregung und günstigster Anfangslänge erreicht wird".

2.5.) Der Zusammenhang zwischen Muskellänge und Muskelquerschnitt

Auch die Definition des Muskelquerschnitts hat ihre Besonderheiten. Der Muskel hat ein konstantes Volumen, unabhängig von seinem Kontraktionszustand, weil er im Grunde inkompressibel ist, wie das Wasser. Bei Verkürzung des Muskels vergrößert sich der Muskelquerschnitt bei gleichbleibendem Volumen. Damit bezieht sich die Muskelkraft auf einen größeren Querschnitt. So muß der Wert der absoluten Muskelkraft kleiner werden. Der Muskel hat bei physiologischer Dehnung seinen kleinsten Querschnitt. Mit zunehmender Verkürzung wächst der Querschnitt und hat sein Maximum bei voller Kontraktion in Endstellung. Die Bestimmung der absoluten Muskelkraft sollte daher bei kleinstem Muskelquerschnitt, d.h. bei physiologischer Dehnung in Endstellung vorgenommen werden.

2.6.) Definition der absoluten Muskelkraft und Voraussetzungen ihrer Bestimmung

Zusammenfassend schlagen wir für den Begriff der absoluten Muskelkraft folgende Definition vor:
"Die *absolute Muskelkraft* ist die *Maximalkraft* bei willkürlicher Kontraktion des Muskels bei maximaler physiologischer Dehnung, bezogen auf die Einheit des Muskelquerschnitts von 1 cm^2 in dieser Stellung". Die Bestimmung der *Muskelkraft* soll in jeweiliger Gelenkendstellung erfolgen, weil der Muskel bei physiologischer Dehnung die größte Kraft aufbringt. Bei den Beugern besteht die Maximalkraft des Muskels in Streckstellung und bei den Streckern in

Beugestellung des Gelenkes. Wird eine andere Stellung gewählt, so erhält man geringere Werte der Muskelkraft. In Mittelstellung des Gelenks ist die Muskelkraft bereits erheblich reduziert. Es soll also die Anfangskraft des Muskels bei physiologischer Dehnung in jeweiliger Endstellung bestimmt werden. Der *Muskelquerschnitt* soll in derselben Endstellung bestimmt werden, weil nur so ein Bezug der errechneten Muskelkraft auf den zugehörigen Muskelquerschnitt möglich ist. Muskelkraft und Muskelquerschnitt sollen in physiologischer Gelenkendstellung an derselben Person bestimmt werden. Da die Kraft mit der Verkürzung des Muskels abnimmt, muß unter isometrischen Bedingungen gemessen werden. Bestimmt man die absolute Muskelkraft in einer anderen Gelenkstellung, so erhält man zwangsläufig andere, und zwar geringere Werte für die absolute Muskelkraft, weil die Muskelkraft mit zunehmender Verkürzung abnimmt und der Muskelquerschnitt gegenläufig mit zunehmender Verkürzung zunimmt. Es wird dabei eine geringere Muskelkraft auf einen größeren Muskelquerschnitt bezogen. Auf diese Weise kann man nicht den Maximalwert errechnen. Der am Dynamometer gemessene Lastwert der Muskelaktion darf nicht, wie es vielfach geschieht, der Muskelkraft gleichgesetzt werden. Der gemessene Lastwert wird ja nicht nur von der Muskelkraft allein bestimmt, sondern ist ebenso abhängig von dem Vektor der resultierenden Muskelkraft, von dem sich ändernden Hebelarm der Last und der Muskelkraft, sowie dem Lastmoment des Gliedergewichts.

3.) ZUR GESCHICHTE DER UNTERSUCHUNG ÜBER DIE ABSOLUTE MUSKELKRAFT

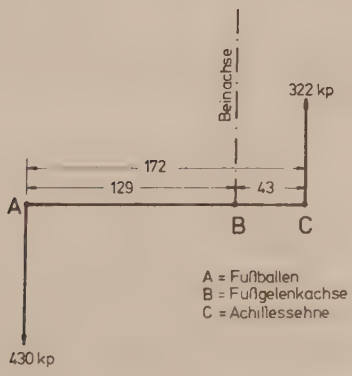
Methoden und Ergebnisse der Untersuchungen in chronologischer Reihenfolge

WEBER, E. (1846) hat die Muskelkraft der Fußbeuger (Wadenmuskeln) an 3 schwachen Versuchspersonen (Vpn) und den Muskelquerschnitt der Fußbeuger an 2 kräftigen Leichen bestimmt.

METHODE

Die *Muskelkraft* der Fußbeuger wurde im Stehen - Streckstellung des Kniegelenks und Rechtwinkelstellung des Fußgelenkes - gemessen. Die Fußbeuger (m. gastrocnemius und m. plantaris) befanden sich in bezug auf das Kniegelenk in Dehnung und in bezug auf das Fußgelenk etwa in Mittelstellung. Die 3 Vpn standen mit parallelen Füßen auf dem Boden. Ein um die Hüfte gelegter Gürtel war mit einer belastbaren Schiene verbunden, die zwischen den Beinen der Vpn hindurchging. Es wurde die *Maximallast* bestimmt, bei der die Ferse gerade noch gehoben werden konnte. Als *Lastarm* wurde der Abstand Großzehengrundgelenkachse - Fußgelenkachse und als *Kraftarm* fälschlich der Abstand Großzehengrundgelenkachse - Achillessehnenansatz genommen. Der wirksame Kraftarm ist aber der 4mal kürzere Abstand Fußgelenkachse - Achillessehnenansatz (Abb.5).

Abbildung 5



Lastwert (kp), Muskelkraft (kp) und Hebelarme (mm) bei der Versuchsanordnung von WEBER, E. (1846)

Der physiologische *Muskelquerschnitt* der Fußbeuger wurde an 2 Leichen mittels indirekter Methode errechnet. Es wurden keine Angaben über den Kontraktionszustand der untersuchten Muskeln gemacht. Die Muskeln wurden der Leiche entnommen. Es wurde das Gewicht G und das spezifische Gewicht G_s bestimmt. Das Volumen V des Muskels wurde aus dem Quotienten $\frac{\text{Gewicht G}}{\text{spezifisches Gewicht } G_s}$ bestimmt. Das spezifische Gewicht der Muskulatur wurde von WEBER, E. mit 1,058 errechnet. Die Muskeln wurden aufgefasert. Es wurde die Länge jeder einzelnen Faser gemessen. So ergab sich die mittlere Faserlänge h der Muskeln. Das Volumen V eines zylindrischen Körpers errechnet sich als Produkt aus Grundfläche Q x Höhe h : V = Q . h. Der physiologische Muskelquerschnitt $Q_p = \frac{V}{h} = \frac{G}{G_s . h}$

ERGEBNISSE

Lastwerte liegen nur von einer Vp vor. Wir beschränken uns deshalb auf dieses Einzelergebnis. Bei dieser Vp ergab sich folgende Berechnung. Die *Maximallast* L (Körpergewicht + Schienengewicht) betrug 430,66 kp. Dabei konnte die Ferse gerade noch vom Boden gehoben werden. Die *Muskelkraft* K wurde nach der Momentengleichung errechnet:
Muskelkraft K x Kraftarm k = Last L x Lastarm l.
Der *Kraftarm* k wurde mit 172 mm und der *Lastarm* l mit 129 mm an einer Leiche gemessen. Für beide Beine errechnete sich die Muskelkraft

$$K = L . \frac{l}{k} = 430{,}7 \text{ kp} . \frac{129 \text{ mm}}{172 \text{ mm}} = 322{,}99 \text{ kp} = \text{rund } 323 \text{ kp}.$$

Die *Muskelkraft* K eines Beines ist dann 161,5 kp und nicht 166,5 kp wie WEBER fälschlich berechnet hat. Der physiologische *Querschnitt* Qp der Wadenmuskulatur wurde an 2 Leichen aus Faserlänge h, Muskelgewicht G und spezifischem Muskelgewicht G_s nach obiger Formel im Mittel mit 153 cm^2 errechnet (Tab. 1).

Fußbeuger	Leiche I			Leiche II			
	Faser-länge h (cm)	Gewicht G (g)	Quer-schnitt Qp (cm^2)	Faser-länge h (cm)	Gewicht G (g)	Quer-schnitt Qp (cm^2)	Mittelwert des Muskel-querschnittes (cm^2)
m. gastrocnemius	5,45	330,2	57,25	5,8	376,6	61,36	59,3
m. plantaris	6,77	10,1	1,41	-,-	-,-	-,-	1,4
m. soleus	3,76	333,2	83,78	3,8	412,2	102,50	93,1
Summe		673,5	142,44		788,8	163,86	153,8

Tabelle 1

Faserlänge h, Gewicht G und physiologischer Querschnitt Qp der Fußbeuger an 2 Leichen (WEBER, 1846)

Tabelle 1

Faserlänge h, Gewicht G und physiologischer Querschnitt Qp der Fußbeuger an 2 Leichen (WEBER, 1846)

Die *absolute Muskelkraft Ka* der Fußbeuger berechnete sich aus $\frac{161,5 \text{ kp}}{153 \text{ cm}^2} = 1,05 \text{ kp/cm}^2$.

DISKUSSION

Der von WEBER errechnete Wert der absoluten Muskelkraft von 1,0 kp/cm^2 ist zu klein, weil er als Kraftarm den Abstand Großzehengrundgelenkachse - Achillessehnenansatz mit 172 mm angenommen hat, statt des Abstandes Fußgelenkachse - Achillessehnenansatz mit 43 mm. Bei einem Kraftarm von 43 mm errechnet sich die *Muskelkraft der Fussbeuger* eines Beines aus 215,3 kp Last . $\frac{129 \text{ mm}}{43 \text{ mm}} = 646$ kp. Die *absolute Muskelkraft* errechnet sich mit $\frac{646 \text{ kp}}{153 \text{ cm}^2} = 4,2 \text{ kp/cm}^2$.

Alle Messungen der Kraft der Fußbeuger im Stand sind problematisch. Beim Heben der Fersen verlagert sich die Schwerelinie von der Fußgelenkachse nach vorne in die Ballenauftrittsfläche, das Drehmoment der Last wird Null. Damit gelten die Hebelverhältnisse nicht mehr, d.h. es wird nicht die Last mit den gemessenen Hebelarmen des Fußes gehoben. Die Fußbeuger haben dabei nur die Aufgabe, das infolge der Schwerpunktsverlagerung eintretende Drehmoment von Körpergewicht + Last auszugleichen. Es ergeben sich also keine verwertbaren Zahlen. Diese Methode soll nicht mehr angewandt werden. Nicht berücksichtigt wurden die Fußgelenkbeuger m. tibialis posterior und mm. peronei. Diese drei Muskeln machen nach KOSTER (1867) 15 % des gesamten Beugerquerschnitts aus. Dadurch würde sich der Wert der absoluten Muskelkraft bei gleichem Kraftarm um 15 % auf 3,6 kp/cm^2 verringern. WEBER mußte mit der resultierenden Muskelkraft und nicht nur mit der Kraftkomponente in Sehnenrichtung rechnen. Dividiert man die in Sehnenrichtung gemessene Kraftkomponente von 646 kp durch den cosinus des Fiederungswinkels von $13^{\circ} = 0,975$

so ergibt sich eine größere resultierende Muskelkraft von $\frac{646 \text{ kp}}{0,975} = 662,5$ kp. Die *absolute Muskelkraft* wäre dann ohne Berücksichtigung des m. tibialis posterior und der mm. peronei $\frac{662,5 \text{ kp}}{153 \text{ cm}^2} = 4,3 \text{ kp/cm}^2$ und bei Berücksichtigung dieser 3 Muskeln $\frac{662,5 \text{ kp}}{176 \text{ cm}^2} = 3,75 \text{ kp/cm}^2$ ($153 \text{ cm}^2 + 15 \% = 176 \text{ cm}^2$). Die *Muskelkraft* wurde bei etwa mittlerer Muskellänge der Fußbeuger gemessen. Der Wert der absoluten Muskelkraft von $4,3 \text{ kp/cm}^2$ stellt also nur einen Mittelwert und nicht den *Maximal*wert dar. Die absolute Muskelkraft muß daher in Wirklichkeit größer sein und zwar nach REYS (1921) um $\frac{6}{87}$. Das ergibt $4,3 + \frac{6.4,3}{87} = 4,6 \text{ kp/cm}^2$ und bei Berücksichtigung der 3 Muskeln $3,75 + \frac{6.3,75}{87} = 4,0 \text{ kp/cm}^2$.

Die Bestimmung des *Muskelquerschnittes* gibt Anlaß zur Kritik. Bei Entnahme des Muskels von der Leiche kommt es zur völligen Entspannung, wie sie am Lebenden nie vorkommt. Der Muskelquerschnitt vergrößert sich in situ bei Übergang von voller Dehnung zu 90° Beugestellung um 34 % (IKAI, 1968). Bei Übergang von 90° Beugestellung zu völliger Entspannung (Entnahme) vergrößert sich der Querschnitt noch einmal um 28 % (HAINES, zitiert nach HAXTON, 1944). WEBER hat also einen maximalen Muskelquerschnitt zugrunde gelegt, der am Lebenden niemals vorkommt. (Er hat andererseits - wie oben angeführt - 15 % des Muskelquerschnitts nicht berücksichtigt.) Die absolute Muskelkraft ist also in Wirklichkeit größer als der errechnete Wert und zwar $\frac{662,5 \text{ kp}}{109 \text{ cm}^2} = 6,1 \text{ kp/cm}^2$ ($153 \text{ cm}^2 + 15 \% = 176 \text{ cm}^2$, $176 \text{ cm}^2 - 62 \% = 109 \text{ cm}^2$).

WEBER bestimmte den Querschnitt nicht bei den 3 schwachen Vpn sondern an 2 kräftigen Leichen. Die relativ kleine Muskelkraft (schwache Vpn, keine volle Muskeldehnung) wurde also auf einen relativ zu großen Muskelquerschnitt bezogen. Der wirkliche Wert der absoluten Muskelkraft liegt deswegen sicher noch höher als der errechnete Wert von $6,1 \text{ kp/cm}^2$. Über diese

Überlegung hinaus bestehen grundsätzliche Bedenken, den Muskelquerschnitt einer Leiche auf eine lebende Vp zu übertragen. Die Muskelquerschnittsbestimmungen haben gezeigt, daß - wie zu erwarten war - ganz erhebliche Unterschiede der Muskelquerschnitte bestehen, und es gibt erwartungsgemäß keinen Einheitsquerschnitt der Muskeln. Es ist daher nur zulässig, die absolute Muskelkraft aus der aufgebrachten Muskelkraft und dem Muskelquerschnitt derselben Vp und desselben Muskels zu bestimmen. Der WEBERsche Wert für die absolute Muskelkraft ist aus diesen Gründen nicht haltbar. WEBER hat das historische Verdienst, als Erster die Bestimmung der absoluten Muskelkraft durchgeführt zu haben.

ZUSAMMENFASSUNG

Die *Muskelkraft* der Fußbeuger wurde mit 646 kp errechnet. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der Fußbeuger wurde an der Leiche mit 153 cm^2 zu groß errechnet. Die *absolute Muskelkraft*, die WEBER mit 1,0 kp/cm^2 errechnete, ist wegen des Rechenfehlers falsch. Bei der von uns vorgenommenen Umrechnung kommt man auf einen Wert von 6,1 kp/cm^2.

HENKE (1865) ließ die Muskelkraft der Unterarmbeuger und Fußheber von KNORZ (zitiert nach HENKE) an 8 kräftigen Vpn (Studenten) bestimmen. Muskelquerschnitte, Hebelarme und Gliedergewichte wurden an einer kräftigen Leiche bestimmt.

METHODE

Die *Muskelkraft* der Unterarmbeuger und Fußheber wurde mit zwei verschiedenen Versuchsanordnungen gemessen. Die Kraft der *Unterarmbeuger* wurde bei rechtwinkliger, waagerechter Stellung des Unterarmes gegen den senkrecht frei herabhängenden Oberarm untersucht: etwa mittlere Muskellänge. Ein *Maximalgewicht* wurde mittels einer Schlinge über die Mittelhandköpfchen gehängt. *Lastarm* war der Abstand Fingergrundgelenkachse - Ellenbogengelenkachse. Die Kraft

Unterarmbeuger	gemessen			berechnet				
	Faserlänge	Gewicht	Hebelarm	Volumen	Querschnitt		"Drehmoment"	
	h (cm)	G (g)	k (cm)	V_3 (cm^3)	Qp_2 (cm^2)	%Satz (%)	Qk_3 (cm^3)	%Satz (%)
m. brachioradialis	20,1	56	5	53	2,6	9,7	13	13,9
m. brachialis	9,7	131	2,5	125	12,9	48,2	31,2	33,4
m. biceps caput longum	15,8	91	5,5	87	5,5 8,4	31,3	46,2	49,5
m. biceps caput brevis	20,1	61		58	2,9			
m. pronator teres	10,3	32	1	30	2,9	10,8	2,9	3,2
Summe		371		353	26,8	100,0	93,3	100,0

Fußheber	gemessen			berechnet				
	Faserlänge	Gewicht	Hebelarm	Volumen	Querschnitt		"Drehmoment"	
	h (cm)	G (g)	k (cm)	V_3 (cm^3)	Qp_2 (cm^2)	%Satz (%)	Qk_3 (cm^3)	%Satz (%)
m. extensor digitorum longus	9,6	52	3,6	50	5,2	24,4	18,7	22,2
m. extensor hallucis longus	11,6	22	4	21	1,8	8,8	7,2	8,6
m. tibialis anticus	9,8	146	4,1	139	14,2	66,8	58,2	69,2
Summe		220		210	21,2	100,0	84,1	100,0

Tabelle 2

Faserlänge h, Gewicht G, physiologischer Querschnitt Qp und Kraftarm k der Unterarmbeuger und Fußheber einer Leiche (HENKE, 1865)

VP	Last L (kp) rechter Arm	Last L (kp) linker Arm	Last L (kp) Mittelwert
1	31,4	25,4	28,4
2	31,4	26,0	28,7
3	30,6	23,9	27,3
4	28,4	23,9	26,2
5	28,4	23,9	26,2
6	23,9	20,0	22,0
7	23,9	18,9	21,4
8	22,4	18,4	20,4
Mittelwert	27,6	22,6	25,1

Tabelle 3

Lastwerte L bei der Kraftbestimmung der Unterarmbeuger bei 8 Vpn (HENKE, 1865)

der *Fussheber* wurde bei rechtwinkliger, waagerechter Stellung des Fußes gegen den senkrecht frei herabhängenden Unterschenkel untersucht: etwa mittlere Muskellänge. Ein *Maximalgewicht* wurde mittels einer Schlinge über die Mittelfußköpfchen gehängt. *Lastarm* war der Abstand Großzehengrundgelenkachse - Fußgelenkachse. Die *Kraftarme* der Muskeln wurden an einer Leiche gemessen. Die physiologischen *Muskelquerschnitte* der 4 Unterarmbeuger sowie der 3 Fußheber wurden mit der indirekten Methode von WEBER an einer Leiche errechnet (Tab. 2). Über die *Muskeldehnung* wurden keine Angaben gemacht.

ERGEBNISSE

Tabelle 2

Faserlänge h, Gewicht G, physiologischer Querschnitt Qp und Kraftarm k der Unterarmbeuger und Fußheber einer Leiche (HENKE, 1865)

UNTERARMBEUGER

Die Berechnung erfolgte nach der Momentengleichung Muskelkraft K x Kraftarm k = Last L x Lastarm l. Auf der Lastseite kommt hinzu das Drehmoment des Gliedergewichts: Gliedergewicht G x Hebelarm s des Gliedergewichts (Schwerpunktradius) = G.s

$$\text{Muskelkraft } K = \frac{L.l + G.s}{k}$$

Die absolute Muskelkraft K_a erhält man, indem man diesen Wert für die Muskelkraft K durch den Muskelquerschnitt dividiert.

$$\text{Absolute Muskelkraft } K_a = \frac{L.l + G.s}{k.Q}$$

Tabelle 3

Lastwerte L bei der Kraftbestimmung der Unterarmbeuger bei 8 Vpn (HENKE, 1865)

Vp	Last L (kp) rechter Fuß	Last L (kp) linker Fuß	Last L (kp) Mittelwert
1	48	44,5	46,3
2	43,5	43	43,25
3	43	41	42
4	41,5	40	40,8
5	41,5	40	40,8
6	40	38,5	39,3
7	39	37	38
8	35	34,5	34,8
Mittelwert	41,4	39,8	40,6

Tabelle 4

Lastwerte bei der Kraftbestimmung der Fußheber bei 8 Vpn (HENKE, 1865)

Die *Maximallast* L der Unterarmbeuger betrug im Durchschnitt 25 kp (18,4 - 31,4 kp) (Tab. 3). Der *Hebelarm* l des Lastgewichtes betrug 30 cm. Das Drehmoment des Gliedergewichtes G . s wurde mit 13 kp . cm errechnet. Das Produkt *Kraftarm* h x *Muskelquerschnitt* Q wurde mit 93,3 cm^3 berechnet. Die *absolute Muskelkraft* K_a der Unterarmbeuger errechnete sich:

$$K_a = \frac{L \cdot l + G \cdot s}{k \cdot Q} = \frac{25 \cdot 30 + 13}{93,3} = 8,2 \text{ kp/cm}^2 = \text{rund } 8 \text{ kp/cm}^2.$$

Die *Muskelkraft* K errechnet sich als Produkt aus absoluter Muskelkraft K_a = 8,2 kp/cm^2 x Muskelquerschnitt Q = 26,8 cm^2 mit 220 kp.

FUSSHEBER

Tabelle 4

Lastwerte bei der Kraftbestimmung der Fußheber bei 8 Vpn (HENKE, 1865)

Die *Maximallast* L der Fußheber betrug im Mittel 40,16 kp (30,5 - 48 kp)(Tab. 4). Der *Hebelarm* l der Last betrug 12 cm. Das *Drehmoment* des Gliedergewichtes G . s wurde mit 3,5 kp . cm berechnet. Das Produkt aus *Kraftarm* k x *Muskelquerschnitt* Q wurde mit 84,1 . cm^3 errechnet.

$$K_a = \frac{L \cdot l + G \cdot s}{k \cdot Q} = \frac{40,16 \cdot 12 + 3,5}{84,1} = 5,19 \text{ kp/cm}^2 =$$

rund 5,2 kp/cm^2.

Die *Muskelkraft* K errechnet sich als Produkt aus absoluter Muskelkraft K_a = 5,2 kp/cm^2 x Muskelquerschnitt Q = 21,2 cm^2 mit 110 kp.

DISKUSSION

HENKE versucht den niedrigen Wert der Fußheber (5 kp/cm^2) gegenüber den Unterarmbeugern (8 kp/cm^2) mit der stärkeren Verkürzungsstelle der Fußheber zu erklären. Tatsächlich scheint aber die Winkelstellung der Gelenke bei den 2 Versuchsreihen ziemlich gleich gewesen zu sein. Diese auffallende

Differenz weist vielmehr darauf hin, daß die Werte nicht richtig bestimmt wurden. Die *Muskelkraft* wurde nicht am gedehnten Muskel (Maximalkraft), sondern bei mittlerer Muskellänge gemessen. Der Wert der absoluten Muskelkraft stellt also nur einen Mittelwert und nicht den Maximalwert dar. Der physiologische *Muskelquerschnitt* wurde bei völlig entspanntem (entnommenen) Muskel bestimmt, wie er beim Lebenden nicht vorkommt. Damit errechnet sich ein zu kleiner Wert der absoluten Muskelkraft. Der im Verhältnis zum anatomischen Querschnitt größere physiologische Muskelquerschnitt wurde mit der kleineren Kraftkomponente in Sehnenrichtung statt der Resultierenden der Muskelkraft korreliert. Das bedeutet wieder einen kleineren Wert der absoluten Muskelkraft. HENKE bezog die Kraftwerte der 8 Vpn auf den Muskelquerschnitt einer Leiche. Die Muskelquerschnitte zeigen aber von Mensch zu Mensch große individuelle Schwankungen. Es ist daher grundsätzlich nicht zulässig, den Muskelquerschnitt einer Leiche den Kraftwerten lebender Vpn zugrunde zu legen. Damit sind die Werte der absoluten Muskelkraft von HENKE nicht brauchbar.

ZUSAMMENFASSUNG

Die *Kraft* der Unterarmbeuger wurde mit 220 kp und die der Fußheber mit 110 kp zu klein berechnet. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der Unterarmbeuger wurde mit 26,8 cm^2 und der physiologische Querschnitt der Fußheber mit 21,2 cm^2 zu groß errechnet. Die *absolute Muskelkraft* wurde für die Unterarmbeuger mit 8,2 kp/cm^2 und für die Fußheber mit 5,2 kp/ zu klein errechnet.

KOSTER (1867) bestimmte die Muskelkraft der Fußbeuger und der Unterarmbeuger bei 8 Vpn. Die Muskelquerschnitte bestimmte er an einer Leiche.

Vp	Körpergewicht (kp)	Last (kp)	Gesamtlast L (kp)
1	63	128	191
2	91	148	239
3	73	146	219
4	70	128	198
5	67	140	207
6	61	136	197
7	71	140	211
8	72	136	208
Mittelwert	71	138	209

Tabelle 5

Lastwerte L bei der Kraftberechnung der Fußbeuger bei 8 Vpn (KOSTER, 1867)

METHODE

Die *Muskelkraft* der *Fussbeuger* wurde wie folgt bestimmt: Ein mit Gewichten belastetes Joch wurde auf die Schultern der Vp gelegt und durch Heben in den Zehenstand gehoben. Das *Kraftmaximum* wurde dann angenommen, wenn die Ferse gerade noch vom Boden gehoben werden konnte. Die Muskelkraft wurde demnach bei annähernd mittlerer Muskellänge bestimmt. Die *Muskelkraft* der *Unterarmbeuger* wurde bei waagerechter Stellung des Unterarmes gegen den senkrecht frei herabhängenden Oberarm isometrisch mit Gewichten gemessen. Die Muskelkraft wurde also bei mittlerer Muskellänge bestimmt. Die *Last* wurde über den Mittelhandköpfchen aufgebracht. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der *Fussbeuger* wurde an der Leiche nach der indirekten Methode von WEBER bestimmt. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der *Unterarmbeuger* und ihre Hebelarme wurden von HENKE übernommen (Tab. 2).

ERGEBNISSE

FUSSBEUGER

Tabelle 5

Lastwerte L bei der Kraftberechnung der Fußbeuger bei 8 Vpn (KOSTER, 1867)

Die *Gesamtlast L* (Lastgewicht + Körpergewicht) betrug im Durchschnitt 208 kp (Tab. 5). Das ergibt eine Gesamtlast eines Beines von $\frac{208 \text{ kp}}{2} = 104 \text{ kp}$. Der *Lastarm l* wurde mit 129 mm, der *Kraftarm k* der Achillessehne mit 35 mm gemessen. Die *Muskelkraft K* der Fußbeuger eines Beines beträgt demnach $\frac{104 \text{ kp} \cdot 129 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 383 \text{ kp}$. Der physiologische *Muskelquerschnitt Qp* der 5 Fußbeuger wurde mit 73 cm^2 errechnet (Tab. 6).

Fußbeuger	Hebelarm	phys. Querschnitt		"Drehmoment"	
	k (cm)	Qp (cm^2)	% Satz (%)	k·Q (cm^3)	% Satz (%)
m. gastrocnemius	3,5	31	42,5	108,5	47,2
m. soleus	3,5	30	41,1	105	45,6
m. plantaris	3,5	1,41	1,9	4,9	2,1
m. tibialis posticus	0,5	3,6	4,9	1,8	0,8
mm.peronei	1,4	7,5	9,6	9,8	4,3
Summe		73,01	100,0	230,0	100,0

Tabelle 6

Physiologischer Querschnitt Qp und Kraftarme k der Fußbeuger einer Leiche (KOSTER, 1867)

Vpn	Lastwerte (kp)
1	9
2	10
3	10,3
4	11
5	11,5
6	11,8
7	10
8	11,2
Mittelwert	10,7

Tabelle 7

abgelesene Lastwerte bei der Kraftberechnung der Unterarmbeuger bei 8 Vpn (KOSTER, 1867)

Tabelle 6

Physiologischer Querschnitt Qp und Kraftarme k der Fußbeuger einer Leiche (KOSTER, 1867)

Die *absolute Muskelkraft* K_a der Fußbeuger eines Beines errechnete sich mit $\frac{383 \text{ kp}}{73 \text{ cm}^2} = 5{,}2 \text{ kp/cm}^2$.

Zu einem etwas anderen, höheren Ergebnis kommt KOSTER, wenn er nicht nur mit dem Hebelarm der Achillessehne von 35 mm rechnet, sondern auch die Hebelarme des m. tibialis posterior und der mm. peronei berücksichtigt (Tab. 6). Dann ergibt sich die *absolute Muskelkraft* der *Fussbeuger* mit

$$K_a = \frac{L.l}{k_1 \cdot Q_1 + k_2 \cdot Q_2 + k_3 \cdot Q_3 + k_4 \cdot Q_4 + k_5 \cdot Q_5}$$

$$= \frac{104 \text{ kp} \cdot 12{,}9 \text{ cm}}{230 \text{ cm}^3} = 5{,}8 \text{ kp/cm}^2$$

Die Kraft der Fußbeuger K als Produkt aus absoluter Muskelkraft $K_a = 5{,}8 \text{ kp/cm}^2$ x Muskelquerschnitt $Qp = 73 \text{ cm}^2$ errechnet sich mit 423 kp.

UNTERARMBEUGER

Tabelle 7

abgelesene Lastwerte bei der Kraftbestimmung der Unterarmbeuger bei 8 Vpn (KOSTER, 1867)

KOSTER hat lediglich die Maximallast der Unterarmbeuger neu bestimmt. Im übrigen wurden die Werte von HENKE übernommen. Der *Maximalwert* der Last *L* betrug 11,8 kp (Tab. 7). Von HENKE wurden übernommen: Lastarm ℓ mit 30 cm - Drehmoment Gliedgewichtes G . s mit 13 kp . cm - "Drehmoment" k . Q mit 93,3 cm^3 (Tab. 2). Die *absolute Muskelkraft* errechnet sich mit

$$K_a = \frac{11{,}8 \text{ kp} \cdot 30 \text{ cm} + 13 \text{ kp} \cdot \text{cm}}{93{,}3 \text{ cm}^3} = 3{,}8 \text{ kp/cm}^2$$

Die *Muskelkraft K* der Unterarmbeuger als Produkt aus absoluter Muskelkraft K_a = 3,8 kp/cm^2 x physiologischer Muskelquerschnitt *Qp* = 26,8 cm^2 errechnet sich mit 101 kp.

DISKUSSION

Die *absolute Muskelkraft* der Fußbeuger wurde von KOSTER nicht - wie vorne angegeben - mit 5,8 kp/cm^2, sondern mit dem doppelten Wert von 11,6 kp/cm^2 errechnet. Er versuchte, diesen offensichtlich zu hohen Wert zu rechtfertigen. Der hohe Wert beruht jedoch nur auf einem Rechenfehler. KOSTER hat den Lastwert beider Beine (208 kp) statt des Lastwertes eines Beines (104 kp) in der Berechnung der absoluten Muskelkraft beibehalten. Damit mußte er einen Wert erhalten, der doppelt so hoch ist.
Die auffallende Differenz der absoluten Muskelkraft zwischen Fußbeuger mit 5,8 kp/cm^2 und Unterarmbeuger mit 3,8 kp/cm^2 wird nicht diskutiert. Methodische Fehler dürften dafür verantwortlich sein.
Wie für WEBER und HENKE gilt auch für KOSTER: Es wurde infolge der mittleren Muskellänge und der Nichtberücksichtigung des Fiederungswinkels nicht die Maximalkraft, sondern nur ein Mittelwert der Muskelkraft bestimmt. Die Werte der Muskelquerschnitte sind wegen der völligen Entspannung, bei der gemessen wurde, zu groß. Die Verrechnung der zu kleinen Muskelkraft der Vpn mit den zu großen Muskelquerschnitten einer Leiche erscheint unzulässig, sie ergibt einen zu kleinen Wert der *absoluten Muskelkraft*.

ZUSAMMENFASSUNG

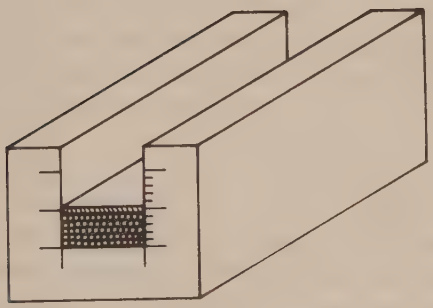
Die *Kraft* der Fußbeuger wurde mit 383 bzw. 423 kp errechnet. Für die Unterarmbeuger wurden nur Lastwerte angegeben. Die Werte sind keine Maximalwerte. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der Fußbeuger wurde mit 73 cm^2 und der der Unterarmbeuger mit 27 cm^2 errechnet. Diese Werte sind zu groß. Die

absolute Muskelkraft der Fußbeuger wurde mit 5,8 kp/cm^2 und die der Unterarmbeuger mit 3,8 kp/cm^2 zu klein berechnet.

BUCHNER (1877) hat eine direkte Methode zur Bestimmung des physiologischen Muskelquerschnitts an der Leiche angegeben. Er bestimmte mit dieser Methode an einer Leiche den physiologischen Querschnitt sämtlicher das Hüftgelenk bewegenden Muskeln.

METHODE

Abbildung 6



Meßbrett nach BUCHNER (1877)

In ein gabelförmig ausgeschnittenes Brettchen wurden die Muskelbäuche so hineingedrängt, daß die Fasern genau senkrecht zur Ebene des Brettchens standen. Es wurde an verschiedenen Stellen des Muskelbauches gemessen, um wirklich den größten Querschnitt zu treffen. An den beiden Zinken der Gabel war eine Millimeterskala angebracht. Wenn man die Muskeln durch einen quer über die Zinken gelegten

Muskel	Querschnitt Qp_2 (cm^2)
m. glutaeus maximus	38,4
m. glutaeus medius	20,0
m. adductor magnus	19,2
m. semimembranosus	10,6
m. rectus femoris	9,6
m. adductor longus	9,6
m. biceps, caput longum	8,8
m. obturator int. et gemelli	8,8
m. psoas	7,6
m. iliacus	7,6
m. glutaeus minimus	7,6
m. obturator externus	7,2
m. semitendinosus	7,0
m. quadratus femoris	5,6
m. adductor brevis	5,0
m. adductor pectinaeus	3,6
m. sartorius	3,2
m. gracilis	3,0
m. tensor fasciae	2,0
Summe	184,4

Tabelle 8

Physiologischer Querschnitt Qp der über das Hüftgelenk hinwegziehenden Muskeln (BUCHNER, 1877)

Stab in den Ausschnitt der Gabel drängte, konnte an der Skala der Wert für den Muskelquerschnitt abgelesen werden.

ERGEBNISSE

Die Querschnittswerte der Hüftgelenkmuskeln sind in Tabelle 8 wiedergegeben.

Tabelle 8

Physiologischer Querschnitt *Qp* der über das Hüftgelenk hinwegziehenden Muskeln (BUCHNER, 1877)

DISKUSSION

Die Methode von BUCHNER erscheint brauchbar zur Bestimmung des physiologischen Muskelquerschnitts an der Leiche. Die Ergebnisse werden bestimmt vom Grad der Querschnittsänderung durch Schrumpfung und Austrocknung der konservierten Muskeln. Die Querschnittswerte von Leichen können nicht auf lebendige Vpn übertragen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft sind Kraft- und Querschnittsmessung bei derselben Vp notwendig, so daß die Methode zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft nicht verwendet werden kann.

ROSENTHAL (1895) bestimmte die Kraft der Kaumuskulatur an den unteren Schneidezähnen von 6 Vpn. Die anatomischen Größen wie Muskelquerschnitt, Kraftarm, Lastarm wurden angeblich an einer gut entwickelten jugendlichen Leiche bestimmt.

METHODE

Die *Muskelkraft* der Kaumuskulatur wurde, wie folgt, bestimmt: An einem vertikalen Träger, der auf einem Tisch befestigt war, war einmal ein fester Bügel angebracht, gegen welchen die Stirn angelegt wurde und zusätzlich eine horizontale Platte, auf welcher die oberen Schneidezähne fest ruhten. Auf die unteren Schneidezähne wurde ein metallischer Bügel aufgelegt, dessen unteres Ende mit einem horizontalen Hebel durch ein Gelenk verbunden war. Die Achse des Hebels konnte an den Trägern verschoben werden. Mit ihr verschob sich zugleich ein festes Widerlager, gegen welches der Hebel anlag, wenn er sich in horizontaler Lage befand. An einer Skala konnte die Entfernung der Zähne gemessen werden, welche den verschiedenen Hebelstellungen entsprach. Für jede dieser Stellungen konnte dann durch Auflegen von Gewichten die Grenzbelastung gefunden werden, bei welcher durch Anspannung der Kaumuskeln der Hebel eben noch um ein Kleines von seinem Widerlager abgehoben werden konnte. Es fehlen Angaben über die Bestimmung des *Muskelquerschnittes* und der *Hebelarme* von Last und Kraft. ROSENTHAL gibt ohne Literaturhinweis an, daß SCHRÖDER darüber eine Dissertation schreiben würde.

ERGEBNISSE

Die Maximalwerte der *Last* schwankten bei der Versuchsanordnung von ROSENTHAL zwischen 40 und 60 kp. Die *absolute Muskelkraft* wurde von ROSENTHAL - ohne nähere Begründung - mit 9 - 10 kp/cm^2 angegeben.

DISKUSSION

ROSENTHAL gibt lediglich einen Lastwert von 40 - 60 kp an. Die Kraft der Kaumuskulatur und die Hebelarme werden nicht angegeben. Ebenso fehlen Angaben über die Bestimmung des Muskelquerschnitts an der Leiche. Darüber hinaus wären

die Muskelquerschnitte der Leiche nicht auf die 6 Vpn übertragbar. ROSENTHAL gibt keine Einzelheiten an, sondern lediglich einen Endwert der absoluten Muskelkraft von 9 - 10 kp/cm^2.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit von ROSENTHAL ist nicht verwertbar zur Beurteilung der Muskelkraft, des Muskelquerschnitts und der absoluten Muskelkraft der Kaumuskulatur.

HERMANN (1898) hat die Muskelkraft der Fußbeuger an einer Vp und den Muskelquerschnitt an einer Leiche bestimmt.

METHODE

Die *Muskelkraft* der Fußbeuger wurde bei mittlerer Beugestellung (90°) des rechten Knie- und Fußgelenkes bestimmt. Die Vp saß mit rechtwinklig gebeugtem Kniegelenk auf einem Stuhl. Der Fuß stand auf dem Boden. Die Last griff am Kniegelenk, 2 cm hinter der Kniegelenkachse, senkrecht nach unten an. Das Kraftmaximum wurde dann angenommen, wenn die Ferse gerade nicht mehr vom Boden gehoben werden konnte. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der Fußbeuger wurde mittels direkter Methode an der Leiche bestimmt. Den Muskelquerschnitt bestimmte HERMANN an einer Leiche, welche in den Hauptdimensionen des Unterschenkels - Länge und Umfang in verschiedenen Höhen - der Versuchsperson sehr nahe kam. Die Wadenmuskulatur der Leiche wurde in Bündel von möglichst paralleler Faserrichtung zerlegt. Jedes Bündel wurde an seiner dicksten Stelle durchschnitten. Alle so erhaltenen Querschnitte wurden zunächst auf weißem Papier mittels Stempelfarbe abgedruckt. Die erhaltenen Figuren wurden auf Koordinatenpapier übertragen. Die bedeckten Quadrate

Fußbeuger	Querschnitt Qp (cm^2)
m. gastrocnemius	38,91
m. soleus	74,01
m. plantaris	1,78
Summe	114,7

Tabelle 9

Physiologischer Querschnitt Qp der Fußbeuger einer Leiche (HERMANN, 1898)

wurden ausgezählt oder die Fläche durch Wägung des Blattes bestimmt.

ERGEBNISSE

Die *Maximallast* - Last + Beingewicht - betrug 238,7 kp. Das Verhältnis Lastarm zu Kraftarm wurde mit 3:1 angenommen. Legt man dieses Hebelarmverhältnis zugrunde, so ergibt sich eine *Kraft* der Fußbeuger von 3 . 238,7 = 716,1 kp. Der physiologische *Muskelquerschnitt* der Fußbeuger wurde mit 114,7 cm^2 an der Leiche gemessen (Tab. 9).

Tabelle 9

Physiologischer Querschnitt Qp der Fußbeuger einer Leiche (HERMANN, 1898)

Die *absolute Muskelkraft* der Fußbeuger wurde mit 716,1 kp : 114,7 cm^2 = 6,2 kp/cm^2 berechnet.

DISKUSSION

Die Versuchsbedingungen zur Bestimmung des Lastwertes waren einwandfrei. HERMANN mußte bei der Muskelkraft den Fiederungswinkel berücksichtigen. Er mußte also die resultierende Muskelkraft aus der Kraftkomponente von 716 kp errechnen, indem er diesen Wert durch den cosinus von 13° = 0,975 dividierte. Das ergibt 716 kp : 0,975 = 734,4 kp als *Kraft* und 734,4 kp : 114,7 cm^2 = 6,4 kp/cm^2 als *absolute Muskelkraft*. Die Kraft der Fußbeuger wurde an der Vp mit 716 kp ferner deswegen zu niedrig berechnet, weil 15% der Beugemuskeln einen kürzeren Hebelarm haben als 35 mm (5 und 14 mm, KOSTER, 1867). Daher müssen diese Muskeln eine größere Kraft aufbringen. Nicht berücksichtigt wurden bei der Querschnittsbestimmung der m. tibialis posterior und die mm. peronei. Nach KOSTER (1867) beträgt der Querschnitt des m. tibialis 3,6 cm^2 und der mm. peronei 7,0 cm^2. Der Hebel-

arm dieser zwei Muskeln in der gewählten Stellung beträgt 0,5 cm und 1,4 cm. Legt man diese Daten zugrunde, so ergibt sich ein kleinerer Wert der absoluten Muskelkraft:

$$K_a = \frac{L \cdot \ell}{k_1 \cdot Q_1 + k_2 \cdot Q_2 + k_3 \cdot Q_3}$$

$$= \frac{239 \cdot 129}{3,5 \cdot 114,7 + 0,5 \cdot 3,6 + 1,4 \cdot 7,0} = 5,7 \text{ kp/cm}^2.$$

Unter Berücksichtigung des Fiederungswinkels beträgt der Wert 5,8 kp/cm^2.

HERMANN hat die Bestimmung des physiologischen *Querschnitts* der 3 Fußbeuger - m. gastrocnemius, m. soleus, m. plantaris - mit einer exakten Methode an der Leiche direkt durchgeführt. Er dürfte damit dem tatsächlichen Querschnitt dieser Muskeln der Leiche bestimmt haben. Es wurden der m. tibialis posterior und die mm. peronei als Fußbeuger mit einem Querschnitt von 10,6 cm^2 = 14,5 % des gesamten Beugerquerschnitts (KOSTER, 1867) nicht berücksichtigt. So erhielt er einen zu hohen Wert der absoluten Muskelkraft. Die Kraft der Fußbeuger wurde mit 716 kp zu klein berechnet. Der Muskelquerschnitt wurde an der Leiche methodisch exakt mit 114,7 cm^2 bestimmt. Die quer durchschnittenen Muskelfasern hatten aber weder Längs- noch Querspannung. Es dürfte also eine volle Muskelentspannung bestanden haben. Ein solcher Querschnitt kommt beim Lebenden, bei dem die Maximalverkürzung 50 % beträgt, nicht vor. Es wurde demnach ein unphysiologisch großer Muskelquerschnitt der Berechnung zugrunde gelegt. Damit errechnet sich ein zu niedriger Wert der absoluten Muskelkraft. Die Übertragung der Werte des Muskelquerschnitts der Leiche auf die lebende Vp ist darüber hinaus unzulässig. Der Wert der errechneten *absoluten Muskelkraft* von 5,8 kp/cm^2 ist nicht brauchbar. Es gelten also für die Ergebnisse von HERMANN die gleichen Einwände, wie gegen die früheren Autoren WEBER, HENKE und KOSTER.

Muskel	Querschnitt (cm^2)		
Unterarmbeuger	Leiche 1	Leiche 2	Mittelwert
m. brachialis	5,2	7,4	6,3
m. biceps caput longum	3,5	4,3	3,9
m. brachioradialis	2,2	2,7	2,5
m. biceps caput brevis	3,4	4,2	3,8
m. ext. carp. rad. long.	2,9	3,8	3,4
m. pronator teres	2,5	4,7	3,6
Summe	19,7	27,1	23,4
m. flex. carp. rad.	1,9	2,5	2,2
m. ext. carp. rad. brev.	1,6	2,8	2,2
m. palm. long.	0,7	1,1	0,9
m. pron. quadr.	2,2	2,3	2,25
Summe	6,4	8,7	7,1
Unterarmstrecker			
m. triceps cap. lat.	6,4	7,2	6,8
m. triceps cap. med.	5,1	6,2	5,7
m. triceps cap. long.	4,4	5,1	4,8
Summe	15,9	18,5	17,2
m. anconaeus	2,9	3,5	3,2
m. supinator	1,9	2,5	2,2
m. abd. poll. long.	1,1	2,6	1,9
m. ext. poll. brev.	1,1	2,6	1,9
m. ext. poll. long.	0,6	0,5	0,55
m. ext. ind. propr.	0,3	0,4	0,35
Summe	7,9	12,1	10

Tabelle 10

Querschnittswerte Qa der Armmuskeln von 2 Leichen (GROHMANN, 1902)

ZUSAMMENFASSUNG

Die *Lastwerte* und die *Hebelarme* wurden exakt bestimmt. Die *Muskelkraft* errechnet sich, jedoch ohne Berücksichtigung des Fiederungswinkels, mit 716 kp. Der physiologische *Muskelquerschnitt* wurde an der Leiche mit 114,7 cm^2 exakt bestimmt. Die *absolute Muskelkraft* wurde mit 6,2 kp/cm^2 angegeben. Auch durch unsere Umrechnung (5,8 kp/cm^2) lassen sich nicht alle Fehler ausschalten.

GROHMANN (1902) gab eine direkte Methode zur Bestimmung des anatomischen Muskelquerschnittes an der Leiche an. Er hat die Querschnitte fast aller Armmuskeln an zwei Leichen bestimmt.

METHODE

Er durchschnitt den Muskel quer zur Faserrichtung, tränkte den Querschnitt mit Stempelfarbe und umschlang den Muskel mit einem Gummiband. Der getränkte Querschnitt wurde auf Papier abgedrückt. Mit dem so erhaltenen Muskelquerschnittsstempel wurde eine 1,5 mm starke Bleiplatte beklebt. Die Konturen des Stempels wurden aus der Bleiplatte herausgeschnitten. Das ausgeschnittene Stück wurde gewogen. Durch Vergleichen des Gewichtes mit einer Einheitsplatte von 1 cm^2 konnte man den anatomischen Querschnitt des betreffenden Muskels errechnen.

ERGEBNISSE

Tabelle 10

Querschnittswerte Qa der Armmuskeln von 2 Leichen (GROHMANN, 1902)

DISKUSSION

Der Muskel der Leiche hat in situ durch Schrumpfung und Austrocknung einen kleineren Querschnitt als der Muskel beim Lebenden. Andererseits hat der herausgenommene Muskel einen Maximalquerschnitt infolge seiner Elastizität, wie er beim Lebenden nicht vorkommt. Zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft müßte aber der kleinste Querschnitt bestimmt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bestimmung des anatomischen Muskelquerschnitts am isolierten Leichenmuskel ist nicht brauchbar zur Errechnung der absoluten Muskelkraft.

GANS (1905) gab eine Direktmethode zur Bestimmung des physiologischen Muskelquerschnittes beim Frosch an. Er faserte den Froschmuskel in rauchender Salpetersäure auf und zählte die einzelnen Fasern. Der Muskelquerschnitt wurde errechnet durch Vergleich mit einem Muskel von bekanntem Querschnitt und bekannter Faserzahl. Es wird nicht angegeben, nach welcher Methode der "bekannte Muskelquerschnitt" gemessen worden war. Untersuchungen an menschlichen Muskeln wurden nicht vorgenommen. Es liegen also keine verwertbaren Ergebnisse vor.

FICK, R. (1910) wird ausführlicher erwähnt, weil auch heute noch vielfach auf ihn Bezug genommen wird. FICK gab den Wert der absoluten Muskelkraft mit 10 kp/cm^2 an. Er hat selbst keine Bestimmung der absoluten Muskelkraft vorgenommen. Er sagte lediglich: "Nach neuesten Untersuchungen von JOHNSON und von FISCHER, O. .....".

JOHNSON hat keine Ergebnisse veröffentlicht. Er wird nur beiläufig von DU-BOIS-REYMOND (1903) wie folgt erwähnt: "Nach einer vor Jahren durchgeführten Untersuchung, die mir im Manuskript vorlag, beträgt nach JOHNSON die absolute Muskelkraft der Ellenbogenmuskeln 10 kp/cm^2". Auch FISCHER (1906) hat keine eigenen Untersuchungen durchgeführt. Er stellte lediglich folgende Überlegung an: Bei einem angenommenen Körpergewicht von 60 kp und einem angenommenen Querschnitt der Wadenmuskeln eines Beines von 40 cm^2 würde die absolute Muskelkraft - die er "spezifische" Muskelkraft nennt - 4,5 kp/cm^2 betragen. FICK meinte weiter, man dürfe von der Annahme ausgehen, daß der Mensch im Durchschnitt die doppelte Kraft aufzubringen vermöge. So sei man berechtigt, die absolute Muskelkraft des Menschen mit 10 kp/cm^2 festzulegen. FICK hat also ohne eigene Untersuchungen, ohne Bezug auf experimentelle Daten anderer Autoren, ohne ausreichenden Grund, ja im Grunde willkürlich, die absolute Muskelkraft mit 10 kp/cm^2 festgelegt. FICK schrieb allerdings ausdrücklich, daß es sich dabei um eine Schätzung handele. Erstaunlich bleibt, daß diese willkürliche und offensichtlich nicht richtige Zahl kritiklos von 1910 bis in die heutige Zeit in einem großen Teil der Literatur übernommen wurde.

ZUSAMMENFASSUNG

Der von FICK angegebene Wert der absoluten Muskelkraft von 10 kp/cm^2 ist eine willkürliche Schätzung, der keine Realität zukommt.

REYS (1915) hat die Muskelkraft der Fußbeuger an 3 Vpn und den Muskelquerschnitt an einer Leiche bestimmt.

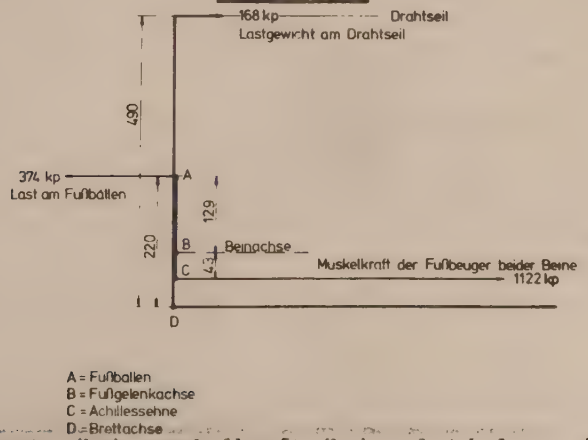
METHODE

Die *Muskelkraft* der Fußbeuger wurde mit 2 verschiedenen Versuchsanordnungen bestimmt. In beiden Fällen befand sich das Kniegelenk in Streckstellung und das Fußgelenk in Mittelstellung (90°).

Bei der Versuchsanordnung 1 stand die Vp aufrecht. Ein Brett wurde als Rückenlehne angebracht, damit der Körperschwerpunkt nicht nach vorn verlagert werden mußte, um im Gleichgewicht zu bleiben. Die Schwerelinie verlief nach der Meinung von REYS durch die Achse des oberen Sprunggelenkes. Die Last bestand aus einem mit Gewichten belasteten Hebel, der zwischen den Beinen der Vp hindurchging und an einem Gürtel um die Hüfte befestigt war. Der Hebel wurde mit Gewichten belastet, die immer weiter vom Drehpunkt entfernt wurden, bis die Ferse gerade noch einen Augenblick vom Boden gehoben werden konnte. Die *Hebelarme* der *Last* und der *Kraft* wurden von WEBER übernommen.

Bei der Versuchsanordnung 2 saß die Vp mit gestreckten Beinen. Die Hinterseite des Beckens war gegen eine Wand gelehnt. Die beiden Füße drückten gegen ein vertikal stehendes Brett, das um eine horizontale Achse drehbar war. Das Fußgelenk stand in einem Winkel von 90°. Von der Oberkante des Brettes lief ein Drahtseil über ein Rad zu einem Gewicht (Abb. 2).

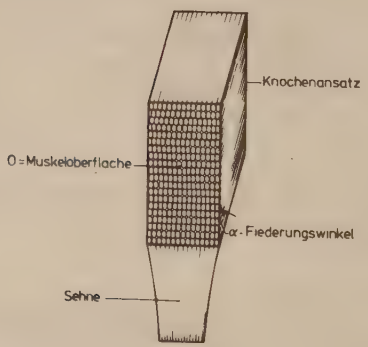
Abbildung 7



Lastwerte (kp), Muskelkraft (kp) und Hebelarme (mm) bei der Versuchsanordnung von REYS (1915)

Es wurde die *Maximalkraft* der Fußbeuger bestimmt. Der *Lastarm* des Drahtseiles war 490 mm und der Lastarm des Ballendruckes 220 mm lang. *Lastarm* und *Kraftarm* des Fußes wurden mit 129 bzw. 43 mm gemessen. Den Berechnungen wurde der Mittelwert der 2 Versuchsanordnungen zugrunde gelegt. Der *Fiederungswinkel* der Muskeln wurde sowohl bei der Kraft wie bei der Querschnittsberechnung berücksichtigt. Der *physiologische Muskelquerschnitt* wurde bestimmt als Produkt aus "Muskeloberfläche" und Sinus des Fiederungswinkels α. REYS ging dabei davon aus, daß die gesamten Muskelfasern an der Faszienfläche inserieren. Die Größe der Faszienfläche entspricht also dem Muskelquerschnitt. Wegen des schiefen Ansatzes der Muskelfasern wurde der Flächenwert mit dem sinus des Fiederungswinkels multipliziert. Auf diese Weise erhielt REYS den physiologischen Querschnitt des gefiederten Muskels (Abb. 8).

Abbildung 8



Die Berechnung des physiologischen Muskelquerschnitts aus Muskeloberfläche O und sinus des Fiederungswinkels α (REYS, 1915)

Der Fiederungswinkel wurde für den m. gastrocnemius und den m. soleus mit 13° angegeben. Der physiologische Querschnitt des m. soleus wurde durch Gewichtsvergleich mit dem m. gastrocnemius bestimmt. Die Werte des m. plantaris wurden von HERMANN übernommen.

ERGEBNISSE

Versuchsanordnung 1
Die *Maximallast* L beider Beine betrug bei 2 Vpn im Mittel 381 kp. Die Muskelkraft beider Beine errechnete sich:

$$K = L \cdot \frac{\ell}{k} = 381 \text{ kp} \cdot \frac{129 \text{ mm}}{43 \text{ mm}} = 1143 \text{ kp.}$$

Die *Muskelkraft* K der Fußbeuger eines Beines betrug dann 571,5 kp.

Versuchsanordnung 2 (1 Vp)
Die *Maximallast* L der Gewichte beider Beine wurde mit 168 kp gemessen. Die Belastung K beider Fußballen errechnete sich:

$$K = L \cdot \frac{\ell}{k} = 168 \text{ kp} \cdot \frac{490 \text{ mm}}{220 \text{ mm}} = 373 \text{ kp.}$$

Die *Last* eines Fußballens betrug demnach 186 kp. Der Hebelarm dieser am Fußballen angreifenden Last ist 3 mal so groß wie der Hebelarm der Fußbeuger: 129 mm : 43 mm = 3 : 1.
Die *Kraft* der Fußbeuger eines Beines betrug also 3 . 186 = 558 kp. Der Mittelwert der Muskelkraft beider Versuchsanordnungen betrug 566,4 kp. Der Wert 566,4 kp ist nur die Kraftkomponente des gefiederten Muskels in Sehnenrichtung (K_s). Die *Resultierende* der Muskelkraft (K_r) errechnet sich aus dem Quotienten Kraftkomponente K_s und dem cosinus des Fiederungswinkels von 13°: $\frac{566,4}{0,975} = 580,41$ kp.
REYS hat 1921 diesen Wert korrigiert. Die Fußbeuger haben ihre Maximalkraft nicht bei 90° Winkelstellung - in der ge-

Fußbeuger	Querschnitt Qp (cm^2)	Gewicht G (g)
m. gastrocnemius	50,1	290
m. soleus	58,7	360
m. plantaris	1,8	-
Summe	110,6	650

Tabelle 11

Physiologischer Querschnitt Qp und Gewicht G der Fußbeuger einer Leiche (REYS, 1915)

messen wurde - sondern (nach REYS) bei 78° Dorsalflexion. Bei 78° Dorsalflexion beträgt die Kraftzunahme 6/87 der Kraft bei 90°. Die *Maximalkraft* der Fußbeuger eines Beines wäre dann $580,4 + \frac{580,4 \cdot 6}{87} = 620,4$ kp.

Tabelle 11

Physiologischer Querschnitt *Qp* und Gewicht G der Fußbeuger einer Leiche (REYS, 1915)

Der physiologische *Muskelquerschnitt* des m. gastrocnemius wurde aus dem Produkt Faszienfläche 222,6 cm^2 und sinus 13° = 0,22 mit 50,1 cm^2 errechnet (Tab. 11). Durch Gewichtsvergleich des m. gastrocnemius mit dem m. soleus (290 g : 340 g) wurde der physiologische Querschnitt des m. soleus mit 58,7 cm^2 errechnet (Tab. 11).
Die *absolute Muskelkraft* errechnete sich für Mittelstellung des Fußes (90°) und Streckstellung des Kniegelenks aus $\frac{580,4 \text{ kp}}{110,6 \text{ cm}^2} = 5,2 \text{ kp/cm}^2$. Die *absolute Muskelkraft* errechnete sich für 78° Dorsalflexion aus $5,2 \text{ kp/cm}^2 + 5,2 \cdot \frac{6}{87} \text{ kp/cm}^2$ mit 5,6 kp/cm^2.

DISKUSSION

Bei Versuchsanordnung 1 besteht die Schwierigkeit, den Einfluß der unkontrollierten Verlagerung des Körperschwerpunktes zu bestimmen. Die 2. Versuchsanordnung erscheint als die zuverlässigere. Es soll daher die absolute Muskelkraft nach dieser 2. Methode errechnet werden. Der Querschnitt des m. soleus wurde durch Gewichtsvergleich mit dem m. gastrocnemius bestimmt. Dieser Vergleich ist wahrscheinlich nicht zulässig, weil nach anderen Autoren (HAXTON, 1944; ROHMANN, 1963) der m. soleus einen größeren Fiederungswinkel (20° und 25°) als der m. gastrocnemius (13°) hat.

Damit hat der m. soleus in Wirklichkeit einen größeren physiologischen Querschnitt. Die Querschnitte und die Drehmomente des m. tibialis posterior und der mm. peronei wurden vernachlässigt. Die Querschnitte machen 14,5 % des Gesamtquerschnittes und ihre Drehmomente 5,1 % des Gesamtdrehmomentes aus (KOSTER, 1867) aus. Die Umrechnung ergibt als absolute Muskelkraft

$$K_a = \frac{L \cdot l}{k_1 \cdot Q_1 + k_2 \cdot Q_2 + k_3 \cdot Q_3}$$

$$= \frac{186 \cdot 129}{43 \cdot 110 + 0{,}5 \cdot 3{,}6 + 1{,}4 \cdot 7{,}0} = 5{,}0 \text{ kp/cm}^2$$

Zu diesem Wert hinzuzurechnen wären 6/87 für die Maximalkraft in 78° Dorsalflexion und 2,5 % wegen des Fiederungswinkels (cosinus 13° = 0,975 = 2,5 %). Damit ergäbe sich eine absolute Muskelkraft von 5,4 kp/cm^2.
Die Korrelation des Muskelquerschnitts einer Leiche mit der Muskelkraft von lebenden Vpn erscheint problematisch und unzulässig um daraus die absolute Muskelkraft zu berechnen.

ZUSAMMENFASSUNG

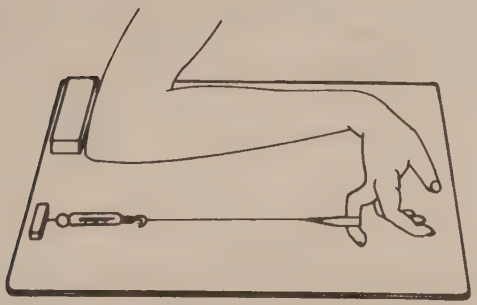
Lastwerte und Hebelarme sind exakt ermittelt. Die *Muskelkraft* der Fußbeuger wurde mit 580 kp errechnet. Der Fiederungswinkel wurde berücksichtigt. Der physiologische *Muskelquerschnitt* wurde an der Leiche mit 110,6 cm^2 errechnet. Die *absolute Muskelkraft* wurde bei Mittelstellung des Gelenkes mit 5,2 kp/cm^2 angegeben, für den gedehnten Muskel mit 5,6 kp/cm^2. Unsere Umrechnung ergibt 5,4 kp/cm^2.

VON RECKLINGSHAUSEN, H. (1920) hat die Muskelkraft des oberflächlichen Beugers des Mittelgliedes des Mittelfingers an einer Vp und den physiologischen Muskelquerschnitt an einer Leiche bestimmt.

METHODE

Die *Muskelkraft* des Mittelfingerbeugers wurde bei natürlicher Länge, d.h. bei völliger Dehnung des Muskels, wie folgt bestimmt: An einem allseitig zugänglichen Tisch sitzend, legte die Vp den Unterarm und die Hand mit der ulnaren Kante auf die Tischplatte. Um das distale Ende des Mittelgliedes des Mittelfingers wurde eine Schlinge aus einem 1,2 cm breiten Band gelegt, an welcher eine Schnur angeknüpft war, die zu einem Dynamometer führte. Hand und Unterarm wurden so gelegt, daß das Mittelglied des Mittelfingers mit seiner Längsachse etwa senkrecht zur Zugrichtung lag und das Mittelgelenk etwa 45% stark gebeugt war (Abb. 9). Es wurde mit Hilfe eines Dynamometers die *Maximallast* bestimmt, die durch Beugung des Mittelgliedes des Mittelfingers aufgebracht werden konnte. Als *Lastarm* wurde der Abstand der Bandschlinge von der Gelenkachse genommen. Der *Kraftarm* wurde an der Leiche bestimmt.

Abbildung 9



Die Versuchsanordnung bei VON RECKLINGHAUSEN zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft an dem m. flexor sublimis digiti III (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

m. flexor sublimis digiti III	natürliche Länge l (cm)	natürlicher Querschnitt Qp (cm^2)	Kraft K (kp)	absolute Muskelkraft Ka (kp/cm^2)
rechts	6,7	3,36	12,1	3,6
links	6,8	3,31	11,4	3,44
Mittelwert	6,75	3,33	11,7	3,52

Tabelle 12

Natürliche Länge l, natürlicher Querschnitt Qp, Kraft K und absolute Muskelkraft Ka des musculus flexor sublimis digiti III (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

Der physiologische *Muskelquerschnitt* wurde wie von WEBER (1846) nach der Formel $Q = \frac{V}{L}$ errechnet. Das Volumen des Muskels wurde von WEBER übernommen. Die Länge des Muskels wurde am freipräparierten gestreckten Leichenmuskel in situ bestimmt und auf die Länge bei Mittelstellung umgerechnet. VON RECKLINGHAUSEN maß an Leiche und Vp die Länge der Ulna und berechnete dann unter der Annahme, daß die Länge der Muskelfasern der Länge der Knochen proportional ist, die mittlere Muskelfaserlänge bei der Vp. VON RECKLINGHAUSEN bestimmte die absolute Muskelkraft bei natürlicher Länge des Muskels. Darunter verstand er jene Länge, welche der Muskel einnimmt, wenn er nicht innerviert und nicht belastet ist.

ERGEBNISSE

Die *Muskelkraft* des oberflächlichen Beugers des Mittelgliedes des Mittelfingers wurde mit 11,7 kp angegeben (Tab. 12). *Lastwerte* für diesen Fall wurden nicht aufgezeigt. Der *Lastarm* wurde mit 2,3 cm im Versuch, der *Kraftarm* mit o,85 cm an der Leiche gemessen. Der physiologische *Muskelquerschnitt* wurde für die Vp im Mittel mit 3,3 cm^2 errechnet. Für die *absolute Muskelkraft* ergab sich ein Mittelwert von 3,5 kp/cm^2.

Tabelle 12

Natürliche Länge l, natürlicher Querschnitt Qp, Kraft K und absolute Muskelkraft Ka des m. flexor sublimis digiti III (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

DISKUSSION

Die Methode der Bestimmung der *Muskelkraft* kann als genügend genau bezeichnet werden. Die indirekte Methode der Bestimmung des physiologischen Muskelquerschnittes an der Leiche und die

	Last	Lastarm	Kraftarm	Kraft	Querschnitt	absolute Muskelkraft
	L	l	k	K	Qp	Ka
	(kp)	(mm)	(mm)	(kp)	(cm^2)	(kp/cm^2)
m. flexor sublimis digiti III	8,0	230	85	21,6	3,3	6,5

Tabelle 12 a

Lastwerte L, Hebelarme der Last l, Hebelarm der Kraft k, Kraftwerte K bei gedehntem Muskel und danach berechneter Wert der absoluten Muskelkraft Ka (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

Umrechnung auf die Vp kann ebenfalls als brauchbar bezeichnet werden, nicht jedoch die Definition der absoluten Muskelkraft, d.h. nicht die Messung von Kraft und Querschnitt bei natürlicher Länge des Muskels. Unter Zugrundelegung der Meßergebnisse von VON RECKLINGHAUSEN bei gedehntem Muskel kommt man zu anderen Werten für Muskelkraft und Muskelquerschnitt, also auch zu einem anderen und zwar höheren Wert für die absolute Muskelkraft (Tab. 12 a). VON RECKLINGHAUSEN selbst gibt *Lastwerte* des gedehnten Muskels an. Der höchste beträgt 8 kp. Als *Muskelkraft* ergibt sich dann 8 kp . $\frac{2,3 \text{ cm}}{0,85 \text{ cm}}$ = 21,6 kp.

Unter Zugrundelegung des angegebenen Muskelquerschnittes beträgt damit die *absolute Muskelkraft* $\frac{21,6 \text{ kp}}{3,3 \text{ cm}^2}$ = 6,5 kp/cm^2.

Dieser Querschnitt ist allerdings zu groß, da er nicht am gedehnten Muskel bestimmt wurde.

Tabelle 12 a

Lastwerte *L*, Hebelarme der Last *l*, Hebelarm der Kraft *k*, Kraftwerte K bei gedehntem Muskel und danach berechneter Wert der absoluten Muskelkraft *Ka* (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

ZUSAMMENFASSUNG

Die *Kraftwerte* bei "natürlicher" Länge des Muskels wurden mit 11,7 kp angegeben, der Wert für die *absolute Muskelkraft* mit 3,6 kp/cm^2. Dieses Ergebnis ist als zu niedrig anzusehen. Mit den von VON RECKLINGHAUSEN selbst angegebenen Werten bei gedehntem Muskel (L = 8 kp, K = 21,6 kp) und dem mit 3,3 cm^2 angegebenen *Muskelquerschnitt* berechnet sich die *absolute Muskelkraft* mit 6,5 kp/cm^2.

FRANKE (1920) bestimmte die Kraft der Unterarmbeuger und Unterarmstrecker an 3 Vpn und den Muskelquerschnitt an einer Leiche.

METHODE

Die *Muskelkraft* der Beuger und Strecker des Unterarmes wurde bei maximaler, isometrischer Kontraktion in verschiedenen Winkelstellungen bestimmt. Der Arm war horizontal gelagert um das Lastmoment des Gewichtes von Unterarm und Hand auszuschalten. Ein Federdynamometer griff am Handgelenk an. Aus der Größe der Federkraft wurde unter Berücksichtigung der Hebelverhältnisse die Muskelkraft errechnet. Die Streckstellung des Armes wurde bei den 3 Vpn mit 0° und die volle Beugestellung mit 140° bezeichnet. Diese Bezeichnung wurde von uns geändert und die Streckstellung mit 180° und die maximale Beugestellung mit 40° bezeichnet. Die Länge des *Hebelarmes* des m. triceps bestimmte FRANKE im Röntgenbild. Die *Hebelarme* des m. brachialis und des m. biceps übernahm er von BRAUNE und FISCHER (1889). Den *Muskelquerschnitt* bei den 3 Vpn bestimmte FRANKE mit Hilfe eines Analogieschlusses. Er ging davon aus, daß ähnliche Flächen sich zueinander verhalten wie die Quadrate homologer, linearer Größen. Es verhalten sich also die Querschnittsflächen der Muskeln eines Leichenarmes Q_L zu den entsprechenden Querschnitten der Vpn Q_V wie das Quadrat des Umfanges des Leichenarmes U_L^2 zum Quadrat des Umfanges des Armes der Vp U_V^2 .

$$Q_L : Q_V = U_L^2 : U_V^2$$

Der Muskelquerschnitt und der Armumfang wurden in Streckstellung des Ellenbogengelenkes bestimmt. Der Umfang der Oberarme wurde an verschiedenen Stellen gemessen und in Höhe dieser Stellen verschiedene Schnitte zur Oberarmachse gelegt. Die erhaltenen Scheiben wurden fotografiert, die Umrisse auf Millimeterpapier übertragen und der Inhalt der einzelnen Flächen durch Auszählen der Quadrate ermittelt. So wurde der größte anatomische Querschnitt bestimmt. Für die parallelfaserigen m. biceps und m. brachialis bedeutet das gleichzeitig den physiologischen Querschnitt. Der physiologische

Personen	Hebelarme (mm)			
	triceps	brachialis	biceps	triceps 40°
Be	20,1	37,7	43,4	13,2
Di	21,7	33,5	44,8	12,7
Fr	23,1	35,6	47,2	14,9
Durchschnitt	21,6	35,6	45,1	13,6

Tabelle 13

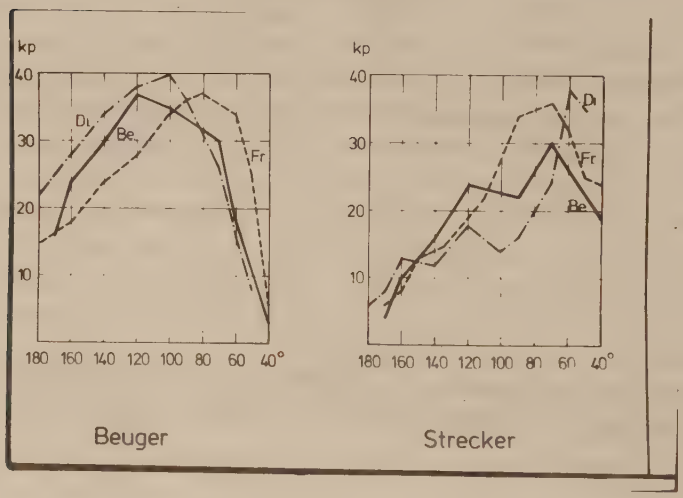
Hebelarme des m. triceps, m. biceps und m. brachialis von 3 Vpn aus Rö.-Fotogrammen berechnet (FRANKE, 1920)

Querschnitt des m. triceps konnte wegen der Kompliziertheit des Fiederungswinkels nicht bestimmt werden.

ERGEBNISSE

UNTERARMSTRECKER

Abbildung 10



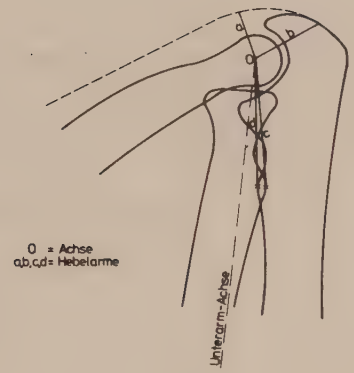
Lastkurven der Beuger und Strecker des Ellenbogengelenks von 3 Vpn (FRANKE, 1920)

Die *Lastwerte* im Verlauf der *Beugung* liegen zwischen 5 und 40 kp und im Verlauf der Streckung zwischen 4 und 38 kp (Abb. 10). Das Maximum der Last während der Beugung liegt bei 70°, 100° und 120° Beugestellung. Das Maximum der *Lastwerte* der *Streckung* liegt bei 60° (1 x) und 70° (2 x). Der *Lastarm* betrug konstant 150 mm.

Tabelle 13

Hebelarme des m. triceps, m. biceps und m. brachialis von 3 Vpn aus Rö.-Fotogrammen berechnet (FRANKE, 1920)

Abbildung 11



Hebelarme des m. triceps (a und b), m. biceps (c) und m. brachialis (d) (FRANKE, 1920)

Die Muskeln haben zunächst einen konstanten Hebelarm, solange ihre Sehnen - im Beginn der Bewegung - der Oberarmrolle anliegen. Das ist der Fall bei den Beugesehnen von voller Streckung von 180° bis 160° Beugestellung, bei der Tricepssehne von voller Beugestellung von 40° bis 60° Beugestellung. Dieser konstante Hebelarm ist mit h_1 bezeichnet, der andere Hebelarm mit h_2. Die Hebelarmlängen bei den 3 Vpn betrugen im Durchschnitt beim m. triceps 21,6 mm - m. biceps 45,1 mm und m. brachialis 35,6mm. Daraus wurden die Kraftarme der Muskeln für die jeweilige Gelenkstellung als Sinusfunktion berechnet:

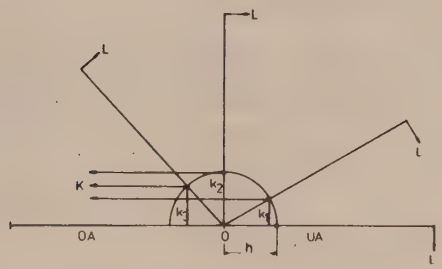
Kraftarm k = Hebelarm h x sin des Beugewinkels.

Beugewinkel	Verkürzung (mm) Mittelwert	Prozentuale Verkürzung (%)
50°	0,0	0,0
60°	0,2	4,3
70°	0,4	8,6
90°	1,0	21,3
100°	1,2	26,1
120°	2,0	42,6
140°	2,8	60,9
150°	3,3	71,7
160°	3,8	82,6
170°	4,2	91,3
180°	4,6	100

Tabelle 14

Verkürzung des m. triceps beim Durchlaufen der Beugewinkel 50° - 180° (FRANKE, 1920)

Abbildung 12



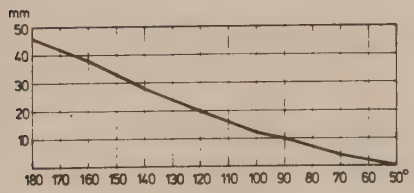
K = Kraft des m.biceps
$k_1 k_2 k_3$ = Kraftarm des m.biceps
h = Hebelarm
L = Last

Die Hebelarme (k_1, k_2, k_3) der Kraft K bei verschiedenem Gelenkwinkel

Tabelle 14

Verkürzung des m. triceps beim Durchlaufen der Beugewinkel 50° - 180° (FRANKE, 1920)

Abbildung 13



Verkürzung des m. triceps (mm) beim Durchlaufen der Beugewinkel (180° - 50°), Mittelwert einer Vp, einer Leiche und eines Modells (FRANKE, 1920)

	Be			Di			Fr			Mittelwert		
Winkel in Grad	L	K	% des Max.	L	K	% des Max.	L	K	% des Max.	L	K	% des Max.
(o)	(kp)	(kp)	(%)	(kp)	(kp)	(%)	(kp)	(kp)	(%)	(kp)	(kp)	(%)
170	4	19,3	5,6	8	39,2	8,7	6	31,3	8,4	6	29,9	7,6
160	10	47,5	13,6	13	60,0	13,0	8	65,6	17,6	10,3	57,7	14,8
140	16	81,6	23,9	12	53,8	11,9	14	87,1	23,4	14	74,2	19,7
120	23	145,6	42,8	18	89,4	19,9	19	113,1	30,3	20	116,0	31
100	22,3	199,1	58,4	14	108,2	24,1	28	183,4	49,3	21,4	163,6	43,9
90	22	217,1	66,3	16	130,4	29,0	34	245,2	65,9	24	197,6	53,7
70	30	340,9	100	24	305,1	67,9	37	372,4	100	30,3	339,5	89,3
60	26	295,5	86,7	38	448,8	100	31	312,1	83,8	31,6	352,1	3o,2
50	22	251,6	73,8	35	413,4	92,1	25	251,6	67,8	27,6	305,5	77,9
40	19	217,4	63,8				23	231,5	62,1	21	224,4	63

Tabelle 15

Lastwerte L, Kraftwerte K, % des Maximums = Kraft des Muskels bei dem betreffenden Winkel, bezogen auf die größte Kraft (FRANKE, 1920)

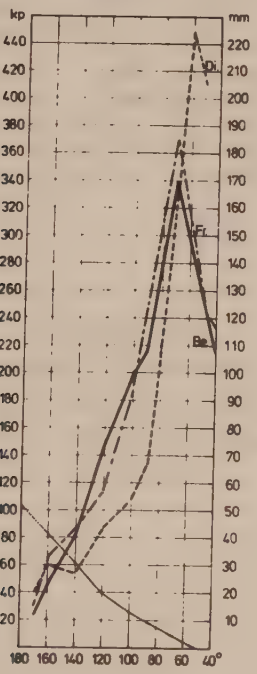
Der *Verkuerzungsweg* des m. triceps beträgt maximal 46 mm. Es handelt sich dabei um den Verkürzungsweg der Sehne und nicht um den Verkürzungsweg des gefiederten Muskels.

Die *Kraft* des m. triceps.

Tabelle 15

Lastwerte *L*, Kraftwerte *K*, % des Maximums = Kraft des Muskels bei dem betreffenden Winkel, bezogen auf die größte Kraft (FRANKE, 1920)

Abbildung 14



Kurven der wirklichen Kraft (*kp*) des m. triceps für 3 Vpn bei verschiedenen Gelenkstellungen (170° - 40°). Die Muskelverkürzung ist auf der Abszisse abgetragen (FRANKE, 1920)

Beuge-winkel in Grad	m. brachialis					m. biceps				
	% Anteil (%)				Mittel-wert	% Anteil (%)				Mittel-wert
(o)	n.Fischer	Be	Di	Fr	(%)	n.Fischer	Be	Di	Fr	(%)
50	34,9	3,5	3,1	8,7	5,1	29,6	2,9	2,6	7,4	4,3
60	33,5	6,4	5,4	11,1	7,6	29,1	5,5	4,6	9,6	6,6
70	34,3	10,3	8,6	12,6	10,5	28,4	8,5	7,1	10,5	8,7
90	33,5	11,4	12,1	12,0	11,8	30,7	10,4	11,0	11,1	10,8
100	32,5	11,4	13,0	11,0	11,8	32,0	11,2	12,8	10,8	11,6
120	30,7	11,4	11,6	8,9	10,6	34,9	12,9	13,3	10,9	12,4
140	31,0	9,3	10,5	7,1	9,0	35,7	10,7	12,1	8,2	10,3
160	41,3	9,9	11,5	7,8	9,7	35,0	8,4	9,8	6,6	8,3
170	45,4	7,2	11,4	7,7	8,8	35,9	5,7	8,9	6,1	6,9

Tabelle 16

Anteil des m. brachialis und des m. biceps (berechnet nach FISCHER) an dem bei den verschiedenen Winkelgraden am Dynamometer gefundenen Lastwert der Unterarmbeuger (FRANKE, 1920)

Es ergaben sich bei den 3 Vpn als Maximalkraft des m. triceps 341 kp bei 70°, 372 kp bei 70°, 449 kp bei 60° und im Durchschnitt 387 kp. Die Maximalkraft bestand also nicht bei maximaler Muskeldehnung (40° Beugestellung), sondern bei einer gewissen Streckung von 20 - 30° aus der maximalen Beugestellung.

UNTERARMBEUGER

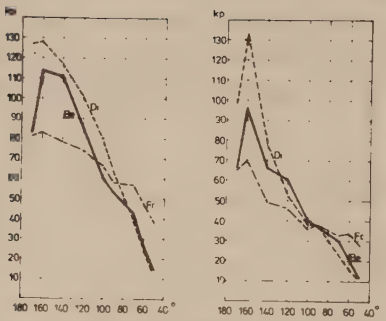
Die *Kraft* der Beuger

Tabelle 16

Anteil des m. brachialis und des m. biceps (berechnet nach FISCHER) an dem bei den verschiedenen Winkelgraden am Dynamometer gefundenen Lastwert der Unterarmbeuger (FRANKE, 1920)

FISCHER hat den prozentualen Anteil der einzelnen Muskeln an der Gesamtbeugekraft berechnet. Diese Werte wurden in Tabelle 16 eingetragen. Aus der Abbildung 15 ließen sich dann die in Tabelle 16 aufgeführten Werte für den m. brachialis und den m. biceps der verschiedenen 3 Vpn berechnen.

Abbildung 15 a und b



Kurve der wirklichen Kraft (kp) des m. brachialis und des m. biceps für 3 Vpn bei verschiedenen Gelenkstellungen (170° - 50°) (FRANKE, 1920)

Der *Maximalwert* der Kraft des m. biceps und des m. brachialis lag mit 207 kp bei 160° (m. biceps im Durchschnitt 99,3 kp, m. brachialis 108 kp). Der Maximalwert lag nicht bei voller Muskeldehnung (180°), sondern bei 160° Beugestellung. Bei den ersten 20° (180° - 160°) liegen offensichtlich Besonderheiten vor. Es bleibt der Hebelarm konstant durch Aufliegen der Sehne auf der Oberarmrolle und den Weichteilen. Das gleiche wurde oben für den m. triceps festgestellt. Die Muskelkraft wird nicht Null, sondern es bleibt ein

Muskel	Querschnitt ($\frac{Qp}{cm^2}$)			
	Vp. 1	Vp. 2	Vp. 3	Durchschnitt
Unterarmbeuger				
m. biceps	8,4	10,7	7,9	9
m. brachialis	9,4	10,2	8,6	9,4
Summe	17,8	20,9	16,5	18,4
Unterarmstrecker				
m. triceps	20,3	25,1	18,7	21,4

Tabelle 17

Anatomischer Querschnitt Qa der Unterarmbeuger und des Unterarmstreckers (FRANKE, 1920)

Muskel	absolute Muskelkraft Ka (kp/cm^2)			
	Be	Di	Fr	Mittelwert
m. triceps	16,8	17,9	19,8	18,1
m. biceps	11,4	12,4	8,9	10,9
m. brachialis	12,1	12,5	9,7	11,4
Mittelwert	13,4	14,2	12,8	13,5

Tabelle 18

Werte der absoluten Muskelkraft Ka bei den 3 Vpn für die mm. biceps, triceps und brachialis (FRANKE, 1920)

Minimalwert von 12 - 38 kp bei voller Beugestellung von 50°.

MUSKELQUERSCHNITT

Tabelle 17

Anatomischer Querschnitt Qa der Unterarmbeuger und des Unterarmstreckers (FRANKE, 1920)

Aus dem Ansatz:

$$\frac{\text{Muskelquerschnitt der Leiche}}{(\text{Armumfang der Leiche})^2} = \frac{\text{Muskelquerschnitt der Vp}}{(\text{Armumfang der Vp})^2}$$

wurden die anatomischen Muskelquerschnitte berechnet. Es ergaben sich folgende Mittelwerte: m. triceps 21,4 cm^2, m. biceps 9,0 cm^2, m. brachialis 9,4 cm^2. Dabei wurde der Muskelquerschnitt sowohl bei der Leiche wie bei der Vp in Streckstellung des Ellenbogengelenks bestimmt, d.h. daß die Beuger gedehnt waren, also ihren kleinsten Querschnitt hatten und die Strecker verkürzt waren, also ihren größten Querschnitt hatten.

Tabelle 18

Werte der absoluten Muskelkraft Ka bei den 3 Vpn für die m. biceps, triceps, brachialis (FRANKE, 1920)

Die Werte der *absoluten Muskelkraft* lagen zwischen 8,9 und 19,8 kp/cm^2. Für den m. triceps errechnete sich ein Mittel von 18,1 kp/cm^2 und für die Beuger von 11,5 kp/cm^2. Das Mittel für Strecker und Beuger errechnete FRANKE mit 13,5 kp/cm^2.

DISKUSSION

Die *Muskelkraft* der Unterarmbeuger und Unterarmstrecker wurde mittels exakter Methode bestimmt auf der Grundlage exakter Lastwerte und Hebelarme. So ergab sich ein Maximalwert des m. triceps von im Durchschnitt 387 kp und der 2 Beuger von im Durchschnitt 207 kp (99 + 108). Das ist eine auffallende, nicht geklärte Differenz, die nicht glaubhaft erscheint. Diese

Differenz zwischen Streckern und Beugern ist bei der Vp Fr besonders hoch im Verhältnis zu den beiden anderen Vpn. Die Werte der *Hebelarme der Kraft* weichen stark von den Werten von FISCHER ab. Bei der *Querschnittsbestimmung* wurde der Anteil des subcutanen Fettes nicht abgezogen. FRANKE hat nicht mit dem *physiologischen* sondern mit dem *anatomischen Muskelquerschnitt* gerechnet. Mag seine Methode des Analogieschlusses zur Bestimmung des anatomischen Muskelquerschnittes auch richtig sein, so bleibt doch die Frage offen, ob bei der Leiche das gleiche Verhältnis zwischen Gliederquerschnitt und Gliederumfang besteht wie beim Lebenden. Der Muskelquerschnitt wurde nur in einer einzigen Stellung, in Streckstellung des Ellbogengelenks gemessen. Passende, damit vergleichbare Muskelquerschnitte hätte FRANKE nur erhalten, wenn er für jede Winkelstellung sowohl die Muskelkraft wie den Muskelquerschnitt bestimmt hätte. Da er den Muskelquerschnitt in Streckstellung des Ellenbogengelenks bestimmte, waren die Beuger gedehnt und hatten ihren kleinsten Querschnitt, während die Strecker verkürzt waren und ihren größten Querschnitt hatten. Damit wird allerdings der Wert der absoluten Muskelkraft für die Strecker verkleinert. Er sollte also in Wirklichkeit noch größer sein. Es ist auffallend, daß die Differenzen der absoluten Muskelkraft bei den neun Zahlen ungefähr 50 % des Mittelwertes ausmachen, also eine außerordentlich große Streuung zeigen. Ebenso auffallend ist die Tatsache, daß alle Zahlen bei FRANKE höher liegen als bei den anderen Autoren.

ZUSAMMENFASSUNG

Die *Maximalkraft* des m. triceps wurde mit 387 kp und die der Beuger mit zusammen 207 kp errechnet. Der Maximalwert wird sowohl bei den Streckern wie bei den Beugern 20° vor der Endstellung (maximale Dehnung) erreicht. Als Mittelwerte des *anatomischen Muskelquerschnitts* wurden errechnet für den m. triceps 21,4 cm^2, für den m. biceps 9,0 cm^2 und für den m. brachialis 9,4 cm^2. Der Mittelwert der *absoluten Muskelkraft* betrug 13,5 kp/cm^2. Der auffallend hohe Wert der absoluten Muskelkraft für den m. triceps von

von 18,1 kp/cm^2 dürfte auf einem zu niedrigen Wert für den Muskelquerschnitt beruhen.

HAXTON (1944) bestimmte die Muskelkraft der Fußbeuger bei 6 Vpn. Die Untersuchung des Muskelquerschnittes wurde an den 6 Vpn und an 4 Leichen, die Messungen der Hebelarme an weiteren 5 Leichen durchgeführt.

METHODE

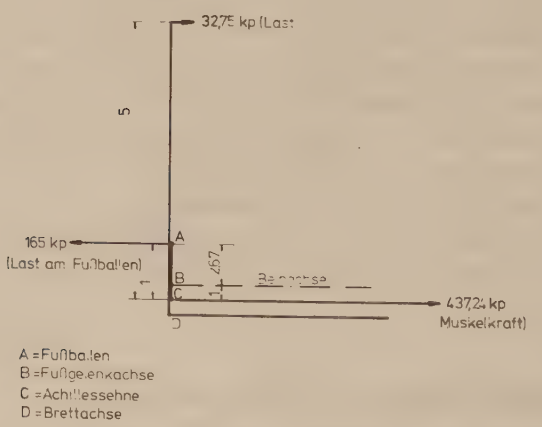
Abbildung 16

Versuchsanordnung von HAXTON (1944)

Die *Muskelkraft* der Fußbeuger wurde - ähnlich wie bei REYS - in Streckstellung des Kniegelenks und in Rechtwinkelstellung des Fußgelenks bestimmt. Die Vp saß auf dem Boden. Eine Stütze wurde hinter dem Becken angebracht. Das Kniegelenk war gestreckt. Während des Versuches berührte das Bein den Boden nicht. Der Fuß stemmte sich gegen ein vertikal stehendes Brett. Das Brett war um eine horizontale Achse drehbar. Zwischen der Beckenstütze und dem Brett war eine Federwaage angebracht.

Der Maximalwert der Kraft wurde mit dem Wert errechnet, den die Federwaage in dem Moment anzeigte, in dem sich die Ferse gerade vom Brett abhob (Last L). Der Abstand der Achse des Großzehengrundgelenks A (Druckpunkt des Fußes gegen das Brett) von der Achse des Brettes D betrug 1/5 des Abstandes zwischen Großzehengrundgelenk A und Befestigung der Federwaage. Die Last am Fußballen A war also 5 mal größer als der von der Federwaage angezeigte Lastwert. Das Verhältnis von *Lastarm* zu *Kraftarm* des Fußes wurde mit 2,67 ± 0,038 : 1 angegeben. Die von den Fußbeugern aufgebrachte Kraft betrug also 5 x 2,67 x angezeigter Lastwert der Federwaage (Abb. 17).

Abbildung 17



Die Hebelverhältnisse bei der Versuchsanordnung von HAXTON (1944)

Zur Bestimmung des *Muskelquerschnittes* der Fußbeuger bei den 6 Vpn stellte HAXTON folgende Überlegung an. Wenn man an der Leiche das Verhältnis von anatomischem zu physiologischem Querschnitt bestimmt, so kann man dieses Ver-

hältnis auf die Vpn übertragen. So ließe sich dann aus dem anatomischen Querschnitt der physiologische Muskelquerschnitt bei den Vpn berechnen. Der *anatomische* Muskelquerschnitt an *der Leiche* wurde in Plantarflexion des Fußgelenks und Streckung des Kniegelenks bestimmt nach der Formel

$$F = \frac{U^2}{4\pi}$$

Es wurde dabei davon ausgegangen, daß die Wade Kreisform hat. Für den Kreis gilt der Umfang $U = 2\pi r$ und der Flächeninhalt (Querschnitt) $F = \pi r^2$.
Es ist $r = \frac{U}{2\pi}$. Dann ist $F = \pi \cdot \frac{U^2}{4\pi^2} = \frac{U^2}{4\pi}$

Der *physiologische* Muskelquerschnitt an der *Leiche* wurde nach Auffaserung der Muskeln gemessen. Die Fasern wurden im rechten Winkel zur Längsrichtung durchschnitten. Die Umrisszeichnungen der Muskeln wurden auf Zelluloidpapier geklebt und ausgeschnitten. Die Größe der Querschnittsfläche wurde durch Wägen bestimmt.
Die Messungen wurden "am kontrahierten Muskel" vorgenommen. HAXTON meint damit offensichtlich, am - durch die Entnahme - völlig entspannten Muskel. Daher wurden der anatomische und physiologische Muskelquerschnitt der Leiche auf die im Experiment der Muskelkraft vorliegende Mittelstellung der Muskellänge - 90° Fußgelenkstellung - umgerechnet. HAXTON ging davon aus, daß nach HAINES (1934) bei Mittelstellung der Querschnitt eines Muskels 72 % des Querschnittswertes des herausgenommenen, also völlig entspannten Muskels beträgt. Demnach wurde der Muskelquerschnitt der Leiche auf 72 % um 28 % reduziert.
Es wurde der *reduzierte physiologische Muskelquerschnitt* auf Grund folgender Überlegung bestimmt: Um bei gefiederten Muskeln die resultierende Muskelkraft zu erhalten, müßte man die in Sehnenrichtung wirksame Kraftkomponente - also die gemessene Kraft - durch den cosinus des Fiederungs-

winkels dividieren. Man kann aber die Kraft des m. gastrocnemius und m. soleus nicht einzeln bestimmen. Diese beiden Muskeln haben einen verschiedenen Fiederungswinkel; m. gastrocnemius 10,5° - m. soleus 25,0°. Wenn man die notwendige Reduktion um den cosinus des Fiederungswinkels nicht wie bei der Kraft vornehmen kann, wird die Reduktion um den Faktor cosinus α nicht bei der Kraftmessung, sondern am Muskelquerschnitt vorgenommen. HAXTON reduzierte also den physiologischen Querschnitt um den Faktor des cosinus des Fiederungswinkels. Dadurch wird die Kraft in der Rechnung um den gleichen Betrag erhöht. Das nannte HAXTON den *reduzierten physiologischen Querschnitt*. Das Verhältnis anatomischer Querschnitt zu reduziertem physiologischem Querschnitt berechnete HAXTON an 5 Leichen mit 1 : 1,31. Der *anatomische* Muskelquerschnitt bei den *Vpn* wurde in Plantarflexion des Fußgelenks und Streckung des Kniegelenks nach der Formel $F = \frac{U^2}{4\pi}$ errechnet. Die Plantarflexion wurde gewählt, weil an der Leiche beim entnommenen Muskel völlige Entspannung besteht und damit der maximale Muskelquerschnitt vorliegt. Den *reduzierten physiologischen Muskelquerschnitt* bei den *Vpn* erhielt HAXTON durch Multiplikation des Wertes des anatomischen Querschnitts mit dem an der Leiche gewonnenen Faktor 1,31. Bei diesem Wert ist also die Kraftminderung in Sehnenrichtung durch den Fiederungswinkel berücksichtigt. Sein Vorgehen war also folgendes:

1. Messung des dicksten Wadenumfanges,
2. Berechnung des anatomischen Querschnitts nach der Formel $F = \frac{U^2}{4\pi}$
3. Bestimmung des reduzierten physiologischen Muskelquerschnitts (Q_{rp}) der Vpn: $Q_{rp} = \frac{U^2}{4\pi} \cdot 1{,}31$

Vp	Bein rechts links	Last L (kp)	Muskel-kraft K (kp)	Waden-umfang U (cm)	anatomischer Muskelquer-schnitt Qa (cm^2)	reduzierter physiologi-scher Muskel-querschnitt Qrp (cm^2)	absolute Muskel-kraft Ka (kp/cm^2)
1	re.	35	467,2	35,9	97,3	127,5	3,66
	li.	36	480,5	35,6	95,6	125,2	3,83
2	re.	37	493,8	35,5	95,0	124,5	3,97
	li.	35	467,2	35,5	95,0	124,5	3,75
3	re.	24	327,8	30,0	66,4	87,0	3,86
	li.	23	314,5	30,0	66,4	87,0	3,62
4	re.	30	400,5	32,2	77,3	101,3	3,95
	li.	30	400,5	32,2	77,3	101,3	3,95
5	re.	33	440,4	34,0	86,8	113,7	3,88
	li.	34	453,8	34,0	86,8	113,7	3,99
6	re.	37	493,8	35,5	95,0	124,5	3,97
	li.	39	520,5	35,5	95,0	124,5	4,18
Mittel-wert		33	438	34	86	112,9	3,9

Tabelle 19

Abgelesener Lastwert L, Muskelkraft K, Muskelquerschnitt Qrp und absolute Muskelkraft Ka der Fußbeuger bei 6 Vpn (HAXTON, 1944)

ERGEBNISSE

Tabelle 19

Abgelesener Lastwert L, Muskelkraft K, Muskelquerschnitt Qrp und absolute Muskelkraft Ka der Fußbeuger bei 6 Vpn (HAXTON, 1944)

Der *Lastwert* betrug im Durchschnitt 32,9 (23 - 39) kp. Die Ballenbelastung betrug im Durchschnitt 5 x 32,9 = 164,5 kp. Die *Maximalkraft* lag bei den 6 Vpn zwischen 314,5 und 520,5 kp, mit einem Mittelwert von 438,5 kp. Der anatomische Muskelquerschnitt wurde aus dem Wadenumfang der Vp nach der Formel $Q_a = \frac{U^2}{4\pi}$ errechnet. Der Wadenumfang betrug im Mittel 34 cm, der anatomische Muskelquerschnitt 86 cm^2. Der reduzierte physiologische Querschnitt Q_{rp} wurde berechnet aus dem anatomischen Querschnitt Q_a durch Multiplikation mit dem Faktor 1,31, im Mittel mit 112,9 cm^2 (87 - 127,5). Die absolute Muskelkraft K_a errechnete sich daraus mit 3,9 + 0,15 Kp/cm^2.

DISKUSSION

Die Lastwerte, die Hebelarme von Last und Kraft und damit auch die aufgebrachte Kraft der Fußbeuger wurden richtig ermittelt. Die Bestimmung der *Muskelkraft* erfolgte in Mittelstellung des Fußgelenks (90^o). Der anatomische Querschnitt der Leiche wurde nach der Formel $Qa = \frac{U^2}{4\pi}$ errechnet. Diese Formel hat nur dann Gültigkeit, wenn das Glied Kreisform hat. Die Berechnung des Anteils der Beuger am Gesamtquerschnitt des Wadenschenkels wurde nicht diskutiert. Der anatomische Querschnitt an der Leiche wurde in Plantarflexion, also bei großem Querschnitt bestimmt. Die Messung des physiologischen Querschnitts Q_p erfolgte am entnommenen Muskel, also bei völliger Entspannung, d.h. bei größtem Querschnitt. Es bleibt problematisch, ob das Verhältnis von anatomischem zu physiologischem Querschnitt der Leiche = 1,31 sich auf die Verhältnisse beim Lebenden übertragen läßt. Für die Bestimmung des anatomischen Querschnitts an

der Vp gilt dasselbe wie für die Bestimmung des anatomischen Querschnitts an der Leiche. Der Muskelquerschnitt wurde von Plantarflexion des Fußes auf Mittelstellung umgerechnet (verkleinert). Die Einführung eines reduzierten physiologischen Querschnitts bedeutet einen Fortschritt. Der Muskelquerschnitt wurde um den Fiederungswinkel des Muskels korrigiert (verkleinert). Dadurch wird der Fiederungswinkel bei der Querschnittsbestimmung berücksichtigt, weil wegen der verschiedenen Fiederungswinkel der Fußbeuger sich die Änderung der Muskelkraft durch den Fiederungswinkel nicht bei der Kraftberechnung berücksichtigen läßt. Beim Muskelquerschnitt wurden die mm. peronei und der m. tibialis posticus, die 14,5 % des Gesamtquerschnitts der Beuger und 5,1 % des Drehmoments der Beuger ausmachen, nicht berücksichtigt. Es wurde nicht der Maximalwert der Kraft bestimmt, weil die Kraft in Mittelstellung und nicht bei Dehnung des Muskels gemessen wurde. Es wurde nicht der kleinste Muskelquerschnitt, wie er bei Muskeldehnung vorliegt, bestimmt, sondern ein mittlerer Wert. Hätte HAXTON diese beiden Faktoren berücksichtigt, würde durch beide Faktoren der Wert für die absolute Muskelkraft größer geworden sein. HAXTON versuchte, das unzulässige Verfahren der Übertragung von Leichenquerschnittswerten auf die Querschnittswerte von Vpn zu vermeiden. Es bleibt das Verdienst von HAXTON, einen Weg aufgezeichnet zu haben, wie man durch ein Meß- und Rechenverfahren den physiologischen Muskelquerschnitt am Lebenden bestimmen kann.

ZUSAMMENFASSUNG

HAXTON bestimmte an 6 Vpn bei mittlerer Muskellänge die *absolute Muskelkraft der Fußbeuger* mit 3,9 + 0,15 kp/cm^2. Die *Muskelkraft* betrug 438,5 kp (314,5 - 520,5), der *reduzierte physiologische Muskelquerschnitt* 112,9 cm^2 (87 - 127,5).

MORRIS (1948) bestimmte die Muskelkraft und den Muskelquerschnitt der Beuger und Strecker von Unterarm und Unterschenkel bei 24 Vpn: 12 Männer und 12 Frauen.

METHODE

Die *Muskelkraft* wurde bei 90° Mittelstellung des Ellenbogengelenks bzw. des Kniegelenks mittels eines Dynamometers bestimmt. Der Unterarm bildete einen rechten Winkel zum Oberarm. Das Dynamometer war durch einen Gurt am Handgelenk befestigt. Der Unterschenkel bildete einen rechten Winkel mit dem Oberschenkel. Das Dynamometer war durch einen Gurt am Fußgelenk befestigt. Der *Muskelquerschnitt* wurde nach der Formel von CLARK (1930) berechnet:

$$\text{Querschnitt} = \text{Breite} \times \text{Tiefe} - \left[0{,}6036 \cdot \left[2 \cdot (\text{Breite} + \text{Tiefe}) - \text{Umfang}\right]\right]^2$$

Es wurden also gemessen Breite, Tiefe und Umfang des Gliedes. Breite und Tiefe sind zwei aufeinander senkrecht stehende Durchmesser des Gliedes oder Muskels. Bei jeder Vp wurde die Messung 3 mal durchgeführt. Es wurde eine Korrektur für den Fetteil vorgenommen. Durch Einsetzen der gemessenen Werte in die Formel von CLARK wurde der Querschnitt der Extremität errechnet. Der Anteil der einzelnen Muskeln am Gesamtquerschnitt wurde nach MORTON und LAMBERT + planimetrisch bestimmt. So wurde der anatomische Muskelquerschnitt ermittelt. Durch einen nicht näher erklärten prozentualen Zuschlag bei gefiederten Muskeln (z.B. m. rectus femoris 50 %, m. vastus intermedius 25%) erhielt MORRIS den *physiologischen* Muskelquerschnitt. Bei dem m. triceps, der auch gefiedert ist, wurde jedoch kein Zuschlag gemacht. Der Fiederungswinkel wurde berücksichtigt. Die *Hebelarme der Kraft* wurden im Röntgenbild bestimmt, die *der Last* wurden gemessen.

+ Diese Arbeit konnte nicht besorgt werden.

Muskel	Kraftarm	Lastarm	Kraftarm / Lastarm	Kraft	physiologischer Querschnitt	absolute Muskelkraft
	k (cm)	l (cm)	k / l	K (kp)	Qp (cm^2)	Ka ($\frac{kp}{cm^2}$)
Unterarmbeuger						
m. biceps) m. brachialis)	3,9	28,5	0,14	202,5	22,1	9,15
m. brachioradialis	6,9	28,5	0,23	44,6	4,9	9,14
Summe				247,1	27,0	
Unterarmstrecker						
m. triceps	1,8	28,5	0,06	359,6	23,4	15,4

Tabelle 20

Kraftarm k, Lastarm l, Kraft K, physiologischer Querschnitt Qp und absolute Muskelkraft Ka von 28 Vpn (MORRIS, 1948)

ERGEBNISSE

Tabelle 20

Kraftarm k, Lastarm l, Kraft K, physiologischer Querschnitt Qp und absolute Muskelkraft Ka von 28 Vpn (MORRIS, 1948)

UNTERARMBEUGER

Der *Lastwert* betrug für die Beuger 84 engl. Pfund. Der *Kraftarm* des m. biceps und m. brachialis wurde mit 3,9 cm, der des m. brachioradialis mit 6,9 cm mittels Röntgen ermittelt.
Der *Hebelarm der Last* wurde mit 28,5 cm gemessen. Die *Kraft der Unterarmbeuger* wurde mit 247 kp (m. biceps + m. brachialis 202 kp, m. brachioradialis 45 kp) errechnet. Der *physiologische Muskelquerschnitt* betrug 22 cm^2 für den m. biceps + m. brachialis und 4,9 cm^2 für den m. brachioradialis. Die *absolute Muskelkraft* der Unterarmbeuger wurde mit 9,15 kp/cm^2 (m. biceps + m. brachialis 9,15 kp/cm^2, m. brachioradialis 9,14 kp/cm^2) errechnet.

UNTERARMSTRECKER

Der *Lastwert* des m. triceps betrug 50 engl. Pfund.
Der *Kraftarm* wurde mit 1,8 cm mittels Röntgen ermittelt.
Der *Hebelarm der Last* wurde mit 28,5 cm gemessen. Die *Kraft des Unterarmstreckers* wurde mit 360 kp errechnet. Der *anatomische Muskelquerschnitt* betrug 23 cm^2, die *absolute Muskelkraft* 15,4 kp/cm^2. Für die Beuger und Strecker des Unterschenkels wurden keine Einzelwerte angegeben. Bei allen untersuchten Muskeln streuten die Werte für die absolute Muskelkraft von 2,86 kp/cm^2 bis 17,94 kp/cm^2. Für Frauen und Männer wurde aus allen Ergebnissen ein getrennter Mittelwert errechnet, für die Frauen mit 7,1 kp/cm^2, für die Männer mit 9,2 kp/cm^2. Auch dafür wurden keine Einzelwerte angegeben.

DISKUSSION

Die *Muskelkraft* wurde bei mittlerer Muskellänge bestimmt, bei welcher keine Maximalkraft vorliegt. Es wird nicht angegeben, bei welcher Muskellänge der *Muskelquerschnitt* bestimmt wurde. Die Methode der Querschnittsbestimmung ist in der dargestellten Form nicht nachprüfbar. Die Berechnung des *physiologischen* Querschnittes aus dem *anatomischen* durch einen Zuschlag entsprechend dem Fiederungsgrad wäre eine einfache Methode. MORRIS erklärt diese Methode jedoch nicht, zudem wendet sie diese beim m. triceps überhaupt nicht an. Für den m. triceps wird also nur der *anatomische* Querschnitt bestimmt, der natürlich kleiner ist als der *physiologische*. Dadurch wird der Wert für die absolute Muskelkraft des m. triceps zu groß, er ist also unbrauchbar. Die auffallend große Streuung der *absoluten Muskelkraft* von 3 - 18 kp/cm^2 ließe sich dadurch vielleicht erklären. Nachzuprüfen ist es nicht, da MORRIS nur für eine Vp Einzelwerte angibt. Wären die Werte von MORRIS richtig, so müßte man daraus schließen, daß jeder Muskel einen eigenen Wert der Kraft bezogen auf die Querschnittseinheit hätte. MORRIS gibt, allerdings auch ohne Einzelwerte, unterschiedliche Ergebnisse für Frau und Mann. Ein Nachprüfen ist auch hier unmöglich. Die Hebelarme von Last und Kraft wurden exakt bestimmt, somit auch die Kraft. Unserer Meinung nach liegt ein Fehler in der Querschnittsbestimmung, so daß die Ergebnisse für die absolute Muskelkraft nicht zu verwerten sind.

ZUSAMMENFASSUNG

MORRIS bestimmte die absolute Muskelkraft der Beuger und Strecker von Unterarm und Unterschenkel. Einzelwerte für den Unterschenkel wurden nicht angegeben, für die Unterarmbeuger und -strecker nur für eine Vp. Für die Unterarmbeuger betrug die *absolute Muskelkraft* 9,15 kp/cm^2, die

Kraft 247,1 kp, der *physiologische Querschnitt* 27,0 cm^2. Für den m. biceps wurde die *absolute Muskelkraft* mit 15,4 kp/cm^2 angegeben, die *Kraft* mit 359,6 kp, der *anatomische* Querschnitt mit 23,4 cm^2.

VON LANZ und HENNING (1953) haben eine Formel zur Querschnittsbestimmung des Muskels angegeben. Mit dieser Methode wurde der Querschnitt des m. iliacus und des m. psoas an einer Leiche bestimmt.

METHODE

Der Umfang des Muskels wurde mittels eines 0,5 bis 1 cm breiten, biegsamen Bandmaßes gemessen. Der Muskel wurde dabei zum Kreis verformt. Der Muskelquerschnitt läßt sich dann als Zylinderfläche nach der Formel $F = \frac{U^2}{4\pi}$ berechnen. HAXTON (1944) hat diese Formel bereits zur Bestimmung des Querschnitts des Unterschenkels benutzt.

ERGEBNISSE

Der anatomische Querschnitt des m. iliopsoas wurde mit 17 cm^2 berechnet. Dieser Wert liegt in dem Bereich, den SCHUMACHER an 21 Leichen mit einem Mittelwert von 15 ± 3 cm^2 angibt.

DISKUSSION

Es ist eine einfache, brauchbare Methode zur Bestimmung des anatomischen Querschnittes des Muskels an der Leiche. Handelt es sich um einen parallelfaserigen Muskel, erhält man damit gleichzeitig den physiologischen Muskelquerschnitt. Bei der Bestimmung der *absoluten Muskelkraft* ist die Methode nicht anzuwenden.

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0000	0000	0000	0001	0001	0002	0003	0004	0005	0006
1	0008	0009	0011	0013	0015	0018	0020	0023	0025	0028
2	0031	0034	0038	0041	0045	0049	0053	0057	0061	0066
3	0070	0075	0080	0085	0090	0096	0101	0107	0113	0119
4	0125	0131	0137	0144	0151	0158	0165	0172	0180	0187
5	0195	0203	0211	0219	0227	0236	0245	0253	0262	0271
6	0281	0290	0300	0310	0319	0329	0340	0351	0362	0372
7	0383	0394	0405	0417	0428	0440	0451	0463	0476	0488
8	0500	0513	0525	0538	0551	0564	0578	0591	0605	0619
9	0633	0647	0661	0676	0690	0705	0720	0735	0750	0765
10	0781	0796	0812	0828	0845	0861	0878	0894	0910	0927
11	0945	0962	0979	0997	1015	1033	1051	1069	1087	1105
12	1124	1143	1162	1181	1201	1220	1240	1260	1280	1300
13	1320	1340	1360	1381	1403	1424	1445	1466	1487	1509
14	1531	1553	1575	1598	1620	1643	1666	1688	1711	1734
15	1758	1781	1804	1828	1852	1877	1901	1925	1950	1975
16	2000	2025	2050	2076	2102	2127	2153	2178	2205	2231
17	2257	2284	2311	2338	2365	2392	2420	2447	2475	2503
18	2531	2559	2588	2616	2645	2674	2703	2732	2761	2790
19	2820	2850	2880	2910	2940	2970	3001	3031	3062	3093
20	3125	3156	3187	3219	3251	3283	3315	3347	3379	3411
21	3444	3477	3510	3544	3578	3611	3644	3678	3712	3746
22	3780	3815	3849	3884	3919	3954	3990	4025	4060	4096
23	4132	4167	4203	4239	4277	4313	4350	4387	4424	4461
24	4499	4536	4574	4612	4650	4689	4727	4765	4803	4842

Tabelle 21

Flächen einer Ellipse vom Achsenverhältnis 4 : 5 bei gegebenem Umfang (LIPPERT, 1959)

LIPPERT (1959) hat eine Tabelle angegeben, um aus dem Muskelumfang den Muskelquerschnitt an der Leiche zu bestimmen.

METHODE

Es wurde zugrunde gelegt, daß der Muskelquerschnitt die Form einer Ellipse hat. Dabei zeigt sich, daß das Achsenverhältnis der elliptischen Muskel sich wie 4 : 5 verhält. Aus der angegebenen Tabelle ist nach Messung des Muskelumfanges direkt der Wert für den Muskelquerschnitt abzulesen (Tab. 21).

Tabelle 21

Flächen einer Ellipse von Achsenverhältnis 4 : 5 bei gegebenem Umfang (LIPPERT, 1959)

ERGEBNISSE liegen nicht vor, da LIPPERT keine eigenen Messungen durchgeführt hat. Das Verfahren kann nur am entnommenen Leichenmuskel angewandt werden, nicht aber bei lebenden Vpn, so daß es bei der Bestimmung der *absoluten Muskelkraft* nicht anzuwenden ist.

HETTINGER (1960) bestimmte die absolute Muskelkraft der Unterarmbeuger bei 28 Frauen und 28 Männern.

METHODE

Die Methode zur Bestimmung der *Muskelkraft* wird nicht angegeben. Es findet sich nur die Bemerkung, daß die Muskelkraft isometrisch mittels Dynamometer (Dehnungsmeßstreifen) gemessen wurde. HETTINGER beschränkte sich bei der Bestimmung des *Muskelquerschnittes* der Unterarmbeuger auf den m. biceps. Der m. coracobrachialis, dessen Nichtberücksichtigung HETTINGER erwähnt, ist kein Unterarmbeuger. Die Methode der Querschnittsbestimmung wird nicht angegeben. Es wird erwähnt, daß der Muskelquerschnitt aus den gemessenen Durch-

messern der Muskel errechnet wurde nach Abzug der Dicke von Haut und Unterhautfettgewebe. Hebelarme wurden nicht angegeben.

ERGEBNISSE

Für die *Muskelkraft* und den *Muskelquerschnitt* wurden keine Einzelwerte angegeben. Es finden sich nur Angaben über das prozentuale *Last*wertverhältnis der Unterarmbeuger zwischen Männern und Frauen.
Die *absolute Muskelkraft* wird für Männer im Mittel mit $4{,}0 \pm 0{,}5$ kp/cm^2 und für Frauen im Mittel mit $4{,}0 \pm 1{,}0$ kp/cm^2 angegeben. Angaben über die Berechnung werden nicht gemacht. Die absolute Muskelkraft ist auf Grund dieser Daten von HETTINGER bei Männern und Frauen gleich. Die größere Streuung bei den Frauen wird als größerer Meßfehler infolge stärkeren Unterhautfettgewebes gedeutet. Die absolut geringere Muskelkraft der Frauen - rund 2/3 der Kraft der Männer - beruht nach HETTINGER auf einem kleineren Muskelquerschnitt und nicht auf einer geringeren Muskelkraft.

DISKUSSION

HETTINGER gibt keine Einzelergebnisse an, sondern lediglich das Gesamtergebnis seiner Untersuchungen. Es werden nähere Angaben über die Methode der Bestimmung der Muskelkraft und des Muskelquerschnitts vermißt, so daß die Ergebnisse nicht nachprüfbar sind. HETTINGER spricht von Muskel*kraft*. Er meint damit den am Dynamometer abgelesenen *Last*wert. Um zur Muskelkraft zu kommen, müßten die Hebelarme der Last und der Muskeln berücksichtigt werden. Es ist anzunehmen, daß HETTINGER die Muskelkraft der Unterarmbeuger bei senkrecht herabhängendem Oberarm durchgeführt hat. Dann wäre dem Drehmoment der Last noch das Drehmoment des Lastgewichts der Hand und des Unterarms zuzufügen, was etwa 13 kp . cm beträgt (HENKE, 1865).

Bei Rechtwinkelstellung des Ellenbogengelenks haben die Unterarmbeuger nicht ihre Maximalkraft, sondern nur etwa 50 % der Maximalkraft (FRANKE, 1920). Zur Bestimmung der maximalen Muskelkraft, also in diesem Falle der Muskelkraft bei Streckstellung des Ellenbogengelenks, bedürfte es einer Umrechnung auf diese maximale Muskelkraft.
Bei Winkelstellung des Ellenbogengelenks ist der *Muskelquerschnitt* der Unterarmbeuger größer als in Streckstellung. Er ist z.B. bei 90° Beugestellung rund 34 % größer als in Streckstellung (IKAI, 1968). Zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft bedürfte es daher einer Umrechnung auf den kleineren Querschnitt der Unterarmbeuger in Streckstellung. Das ergäbe einen um 1/3 höheren Betrag der absoluten Muskelkraft. Die gemessene Muskelkraft - eigentlich Lastwert am Dynamometer - der Unterarmbeuger wurde auf den Querschnitt des m. biceps umgerechnet. Die Querschnitte der übrigen vier Beuger wurden nicht berücksichtigt: m. brachialis, m. brachioradialis, m. pronator teres, m. extensor carpi radialis. Der m. coracobrachialis brauchte natürlich nicht berücksichtigt zu werden. Diese 4 Unterarmbeuger machen rund 60 % des gesamten Beugerquerschnitts aus (HENKE, 1865). Der m. biceps ist also an der Beugekraft nur mit rund 40 % beteiligt (HENKE, 1865). Für die Berechnung entscheidend ist das Drehmoment der 5 Beuger, also ihre Drehkraft. Dabei besteht folgendes Verhältnis: Das Drehmoment der oben genannten 4 Unterarmbeuger beträgt 50,5 % und das Drehmoment des m. biceps 49,5 % des Gesamtdrehmoments der Unterarmbeuger. Damit ergibt sich folgendes: Um zu dem wahren Wert der absoluten Muskelkraft zu kommen, wäre folgende Untersuchung notwendig: Zum Drehmoment der Last wäre das Drehmoment des Lastgewichts von 13 kp . cm hinzuzufügen. Die in Beugestellung errechnete Maximalkraft der Beuger wäre zu verdoppeln (Streckstellung). Der Muskelquerschnitt, auf den man sich bezieht, wäre um 1/3 zu verkleinern, was auch wieder zu einem höheren Wert der absoluten Muskelkraft führen würde. Der Querschnitt und das Drehmoment der 4 weiteren Unterarmbeuger wäre in die Rechnung

mit einzubeziehen, was wiederum zu einer Reduktion der absoluten Muskelkraft von 2/3 führen würde.

ZUSAMMENFASSUNG

HETTINGER gibt die absolute Muskelkraft des Mannes mit $4,0 \pm 0,5$ kp/cm^2 und die der Frau mit $4,0 \pm 1,0$ kp/cm^2 an. Die Ergebnisse von HETTINGER bedürfen einer Nachprüfung nach obigen Gesichtspunkten.

SCHUMACHER (1966) bestimmte an 21 Leichen das Feuchtgewicht, das Trockengewicht und den physiologischen Querschnitt fast aller Körpermuskeln.

METHODE

Das Feuchtgewicht wird am frisch herausgenommenen Muskel der Leiche bestimmt. Der *physiologische Querschnitt* wurde mittels einer Modifikation der von Buchner angegebenen Methode bestimmt. In einen Kunststoffblock wurde ein U-förmiger Ausschnitt von einer bestimmten Breite gesägt, die Ränder wurden in mm graduiert. Die Fasern des völlig aufgefaserten Muskels wurden in diesem Schlitz parallel zueinander aufgeschichtet und mit einer Glasplatte zusammengepresst. Die Querschnittsgröße konnte direkt abgelesen werden. Das Durchschnittsalter der 21 Leichen lag bei 72,5 Jahren! Das Verhältnis physiologischer Querschnitt zu Trockengewicht wird als Quotient bezeichnet. Wenn ein kurzfaseriger, damit im allgemeinen gefiederter Muskel vorliegt, so ist der Quotient größer als 1. Liegt ein langfaseriger, also nicht gefiederter, parallelfaseriger Muskel vor, so liegt der Quotient unter 1.

Querschnittswerte nach SCHUMACHER

Muskel	Physiologischer Querschnitt Qp (cm^2) $\bar{x}$	σ
Kaumuskeln		
m. masseter	2,75	
m. temporalis	3,45	
m. pterygoideus medialis	1,50	
m. pterygoideus lateralis	1,50	
Schultergürtelmuskeln		
m. trapezius	10,69	3,56
m. rhomboideus major	2,88	0,91
m. rhomboideus minor	0,55	0,27
m. levator scapulea	17,90	7,15
m. pectoralis minor	2,30	1,09
m. subclavius	0,37	0,15
m. serratus anterior	6,78	2,36
Bauchmuskeln		
m. obliquus externus abdominis	6,59	2,35
m. obliquus internus abdominis	5,40	1,58
m. transversus abdominis	2,35	0,83
m. rectus abdominis	2,66	0,99
m. pyramidalis	0,26	0,17
m. quadratus lumborum	2,91	1,86
Nackenmuskeln		
m. rectus capitis posterior major	0,47	0,19
m. rectus capitis posterior minor	0,40	0,21
m. splenius capitis	1,23	0,51
m. splenius cervicis	0,71	0,36
m. semispinalis capitis	2,47	0,65
Atemmuskeln		
m. serratus posterior superior	0,75	0,25
m. serratus posterior inferior	1,10	0,66
Halsmuskeln		
sternocleidomastoideus	1,60	0,67

	$\bar{x}$	σ
Schultergelenkmuskeln		
m. pectoralis major	6,62	2,29
m. deltoideus	11,26	4,58
m. latissimus dorsi	5,53	1,98
m. teres major	4,98	2,83
m. supra spinatus	3,35	1,08
m. infra spinatus	6,26	2,56
m. teres minor	1,59	0,81
m. subscapularis	10,44	4,02
m. coracobrachialis	1,50	0,65
Ellenbogengelenkmuskeln		
m. biceps brachii	3,70	1,67
m. brachialis	4,62	2,25
m. brachioradialis	1,13	0,62
m. triceps brachii	16,23	7,59
m. anconeus	0,50	0,41
Muskeln der Umwendebewegung der Hand		
m. pronator teres	1,53	0,89
m. pronator quadratus	1,19	0,63
m. supinator	1,77	0,62
Handgelenkmuskeln		
m. flexor carpi radialis	1,06	0,47
m. flexor carpi ulnaris	1,82	0,96
m. palmaris longus	0,26	0,20
m. extensor carpi radialis longus	1,59	0,70
m. extensor carpi radialis brevis	1,65	0,73
m. extensor carpi ulnaris	0,95	0,55
Lange und kurze Fingergelenkmuskeln		
m. flexor digitorum superficialis	3,99	2,31
m. flexor digitorum profundus	5,04	2,42
m. extensor digitorum	2,20	1,23
m. extensor indicis	0,45	0,33

	$\bar{x}$	σ
m. extensor digiti minimi	0,39	0,36
mm. interossei palmares	1,13	0,72
mm. interossei dorsales	1,79	0,71
Hüftgelenkmuskeln		
m. iliopsoas	15,61	4,42
m. glutaeus maximus	30,25	9,40
m. glutaeus medius	21,49	7,31
m. glutaeus minimus	9,79	2,89
m. piriformis	2,47	1,22
m. obturatorius internus	3,89	1,56
m. gemellus superior	0,42	0,14
m. gemellus inferior	0,67	0,24
m. quadratus femoris	3,04	2,12
m. obturatorius externus	4,96	1,46
m. pectineus	2,45	1,11
m. adductor longus	4,68	1,81
m. adductor brevis	4,44	1,64
m. adductor magnus	20,50	9,36
m. gracilis	1,66	0,95
m. tensor fasciae latae	2,59	1,66
Kniegelenkmuskeln		
m. quadriceps femoris	55,90	25,34
m. sartorius	1,45	0,96
m. biceps femoris	12,07	4,77
m. semitendinosus	4,79	3,81
m. semimembranosus	12,61	6,41
m. popliteus	2,14	1,06
Lange und kurze Zehengelenkmuskeln		
m. tibialis anterior	6,92	3,18
m. extensor digitorum longus	3,12	1,15
m. gastrocnemius	16,90	9,04
m. soleus	23,77	10,69
m. plantaris	0,59	0,31
m. tibialis posterior	5,75	2,67

	$\bar{x}$	σ
m. flexor digitorum longus	2,10	1,15
m. peroneus longus	4,60	3,04
m. peroneus brevis	2,03	1,09
m. extensor digitorum brevis	0,40	0,25
m. flexor digitorum brevis	0,88	0,69
m. quadratus plantae	0,52	0,26
mm. interossei plantares	0,77	0,38
mm. interossei dorsales	0,97	0,42
Lange Großzehenmuskeln		
m. extensor hallucis longus	1,59	0,66
m. flexor hallucis longus	4,11	2,13
Kurze Großzehenmuskeln		
m. extensor hallucis brevis	0,25	0,15
m. abductor hallucis brevis	0,96	0,62
m. flexor hallucis brevis	0,66	0,39
m. adductor hallucis brevis	0,89	0,48
Kleinzehenmuskeln		
m. abductor digiti minimi	0,77	0,39
m. flexor digiti minimi	0,28	0,18
m. opponens digiti minimi	0,17	0,1o

Tabelle 22

Physiologischer Muskelquerschnitt Qp fast aller Muskeln bei 21 Leichen (SCHUMACHER, 1966)

ERGEBNISSE der Untersuchungen über den Muskelquerschnitt sind der Tabelle 22 zu entnehmen.

Tabelle 22

Physiologischer Querschnitt Qp fast aller Muskeln bei 21 Leichen (SCHUMACHER, 1966)

DISKUSSION

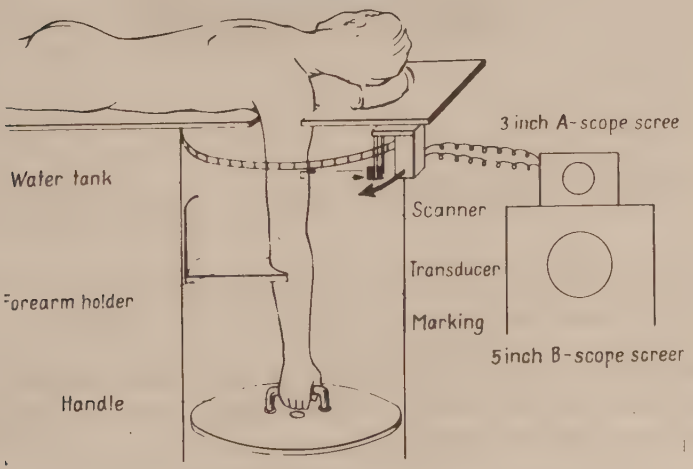
SCHUMACHER hat diese Untersuchungen nicht durchgeführt, um den Muskelquerschnitt zu bestimmen. Es kam ihm vielmehr darauf an, das Verhältnis Trockengewicht zu physiologischem Muskelquerschnitt zu berechnen. Er hatte also eine andere Aufgabenrichtung. Die Untersuchungen wurden an 21 Leichen mit direkter Messung des physiologischen Querschnitts mit einer exakten Methode durchgeführt. Die auffallend niederen Werte der Muskelquerschnitte erklären sich durch die Eigenart des Untersuchungsmaterials, bei dem es sich um alte Menschen gehandelt hat. Es kann sich dabei also nicht um Standardwerte der Bevölkerung handeln. Es fehlen Angaben über den Pressdruck beim Messen des physiologischen Muskelquerschnitts. Zwar sind die Muskelfasern inkompressibel, d.h. sie ändern ihr Volumen bei Kompression nicht. Doch verringert starke quere Kompression den Querschnitt auf Kosten einer gewissen Verlängerung der Muskelfaser. Die Art, Konzentration und Dauer der Einwirkung des Konservierungsmittels bedingen einen unterschiedlichen Schrumpfungsgrad der Muskelfaser.

IKAI und FUKANAGA (1968) haben die Muskelkraft und den Muskelquerschnitt der Unterarmbeuger von 245 Vpn (118 männlich - 127 weiblich) untersucht. Es handelte sich dabei um Schüler und Schülerinnen im Alter von 12 - 20 Jahren, sowie 7 kräftige junge Männer und 9 Studenten (Judo-Männer).

METHODE

Die *Muskelkraft* der Unterarmbeuger wurde in Rechtwinkelstellung des Ellenbogengelenks bei isometrischer, maximaler Kontraktion mittels Dynamometer (Dehnungsmeßstreifen) gemessen. Die Vp saß auf einem Stuhl - der Arm war waagerecht gelagert -, der Unterarm stand im rechten Winkel. Das Dynamometer griff über einen Gurt am Handgelenk an. Der höchste von 3 Versuchswerten wurde als Maximalwert der Berechnung zu Grunde gelegt. Der *anatomische Muskelquerschnitt* der Unterarmbeuger wurde mittels einer Ultraschallmethode - also einer direkten Methode - gemessen. Diese Querschnittsmessung wurde in Streckstellung des Ellenbogengelenks (180°) durchgeführt (Abb. 18).

Abbildung 18



Schema der Ultraschallmessung (IKAI und FUKANAGA, 1968)

Die Vp lag auf dem Bauch - der Arm war ausgestreckt in einen Wassertank eingetaucht. Ein Ultraschallsender mit einer Frequenz von 2,25 - 5 MHz umkreiste in 30 Sekunden den Oberarm. Die reflektierten Impulse wurden auf einen Oszillographen

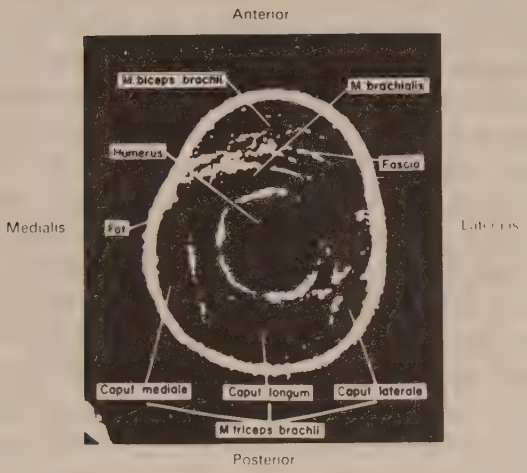
	Zahl der Versuchs-personen	Armkraft K (kp)	anatomischer Querschnitt der Unterarmbeuger Qa (cm^2)	absolute Muskelkraft Ka (kp/cm^2)
Normale Erwachsene (20jährige)	12	27,4 ± 5,2	20,1 ± 2,9	6,7 ± 1,1
Judokämpfer	9	34,5 ± 3,0	27,3 ± 1,3	6,4 ± 0,9

Tabelle 23

Anatomischer Querschnitt Qa, Kraft K und absolute Muskelkraft Ka der Unterarmbeuger bei 12 "normalen" Erwachsenen und 9 trainierten Judokämpfern (IKAI und FUKANAGA, 1968)

aufgezeichnet. Die Ultraschallwellen wurden von den verschiedenen Geweben (Haut - Fett - Faszie - Muskel - Knochen) verschieden reflektiert. Auf diese Weise wurde ein Querschnittsbild des Gliedes und seiner verschiedenen Gewebe aufgezeichnet (Abb. 19).

Abbildung 19



Querschnittsbild des menschlichen Oberarmes durch Ultraschallmessung (IKAI und FUKANAGA, 1968)

Das Verhältnis von Lastarm zu Kraftarm des m. biceps wurde bei 10 Erwachsenen (20 - 30 Jahre alt) im Röntgenbild gemessen.

ERGEBNISSE

Tabelle 23

Anatomischer Querschnitt Qa, Kraft K und absolute Muskelkraft Ka der Unterarmbeuger bei 12 "normalen" Erwachsenen und 9 trainierten Judokämpfern (IKAI und FUKANAGA, 1968)

Wir beschränken uns auf die Ergebnisse bei den 21 Erwachsenen (Tab. 23). Es ergab sich ein durchschnittlicher Quotient Lastarm : Kraftarm von 4,8 ± 0,3. Das Produkt Last x Quotient 4,8 ergibt die Muskelkraft. Diese Kräfte, bezogen auf den Muskelquerschnitt, ergeben die absolute Muskelkraft. Die *Muskelkraft* wurde im Durchschnitt mit 131,5 bzw. 165,6 kp berechnet. Der *anatomische Muskelquerschnitt* des m. biceps + m. brachialis betrug 20,1 bzw. 27,3 cm^2. Es ergab sich eine *absolute Muskelkraft* von im Mittel 6,7 ± 0,1 bzw. 6,4 kp/cm^2. Der Minimalwert lag bei 4,3 kp/cm^2 und der Maximalwert bei 8,7 kp/cm^2. IKAI hat den in Streckstellung gemessenen Muskelquerschnitt umgerechnet auf den Querschnitt in 90° Beugestellung - also die Position, in der die Kraft gemessen wurde. Der Muskelquerschnitt war in Beugestellung um 34 % größer als in Streckstellung. Dann ergibt sich eine absolute Muskelkraft von im Mittel 4,7 kp/cm^2. Die absolute Muskelkraft war bei allen Altersstufen von 12 - 20 Jahren etwa gleich. Die absolute Muskelkraft war bei Männern und Frauen etwa gleich und die absolute Muskelkraft war bei trainierten und untrainierten Erwachsenen etwa gleich.

DISKUSSION

Von den 245 Vpn IKAI's waren nur 21 Männer 20 Jahre alt und älter. Zur statistischen Sicherung des Wertes der absoluten Muskelkraft des Erwachsenen hätte man sich gewünscht, daß die Messungen an einem genügend großen Kollektiv von Erwachsenen durchgeführt worden wären. Die Bestimmung der *Last*momente aus *Last* und *Lastarm* wurden exakt durchgeführt. Die Entwicklung einer neuen Methode der Bestimmung des *Muskelquerschnitts* am Lebenden mit Hilfe eines Ultraschallmeßgerätes ist eine besondere Leistung. Es wird der *anatomische* Querschnitt bestimmt. Für die parallelfaserigen mm. biceps et brachialis bedeutet dies gleichzeitig den *physiologischen* Querschnitt. Die Ultraschallmethode gibt offensichtlich einwandfreie Ergebnisse bei der Bestimmung

	Zahl der Vpn	Last L (kp)	Quotient Lastarm / Kraftarm	Muskelkraft K (kp)	anatomischer Muskelquerschnitt Qa (cm^2)	absolute Muskelkraft Ka (kp/cm^2)
Normale Erwachsene (20jährige)	12	27,4	4,8 ± 5,2	131,5	20,1 ± 2,9	6,5
Judokämpfer	9	34,5	4,8 ± 3,0	165,6	27,3 ± 1,3	6,1
Mittelwert	21	31	4,8	148,6	23,7	6,3

Tabelle 24

Absolute Muskelkraft Ka der Unterarmbeuger bei "normalen Erwachsenen und bei trainierten Judokämpfern nach Korrektur des Quotienten (IKAI und FUKANAGA, 1968)

des Muskelquerschnittes. Diese Methode kann als derzeit beste Methode angesprochen werden. Sie macht zum ersten Male eine exakte und direkte Messung des Muskelquerschnittes am Lebenden möglich. Diese Methode dürfte in Zukunft die Standardmethode bei weiteren Untersuchungen des Muskelquerschnittes darstellen. IKAI hat nicht angegeben, in welcher Weise das Ultraschallbild ausgewertet wurde. Es wäre zu klären, ob der größte Querschnitt des m. biceps bestimmt wurde. In dieser Höhe kann man den größten Querschnitt des m. brachialis nicht bestimmen, weil er weiter caudal liegt. IKAI hat den Querschnitt der übrigen 3 Unterarmbeuger (m. brachioradialis - m. pronator teres - m. extensor carpi radialis) nicht bestimmt. Er hat also einen Querschnitt zu Grunde gelegt, der um rund 20 % kleiner ist als der wahre Muskelquerschnitt. Die absolute Muskelkraft errechnete sich bei ihm höher als der Wirklichkeit entspricht. Als *Kraftarm* wurde allein der Hebelarm des m. biceps gemessen und der Berechnung zu Grunde gelegt. Das Drehmoment des m. biceps und m. brachialis macht 83 % und das der 3 anderen Unterarmbeuger 17 % des Gesamtdrehmomentes der Unterarmbeuger aus. Der Wert der Muskelkraft müßte also noch einmal um 17 % korrigiert werden.

Tabelle 24

Absolute Muskelkraft Ka der Unterarmbeuger bei "normalen" Erwachsenen und bei trainierten Judokämpfern nach Korrektur der Querschnittswerte (Nach IKAI und FUKANAGA, 1968)

Die Tabelle wurde etwas abgeändert (Tab. 24), Kolonne 3 : gemessene Last, nicht gemessene Armkraft, - Kolonne 4 : das bei den Erwachsenen gemessene Verhältnis von Lastarm zu Kraftarm = 4,8 wurde beibehalten. Kolonne 5 : Aus 3 und 4 errechnet sich die Muskelkraft Kolonne 5 - Kolonne 7 : es ergibt sich ein etwas geringerer Wert der absoluten Muskelkraft. Der von IKAI errechnete Wert der *absoluten*

Muskelkraft entspricht nicht dem Maximalwert der absoluten Muskelkraft, sondern einem Mittelwert, weil die Muskelkraft in 90^{o} Beugestellung gemessen wurde. Die Muskelkraft beträgt bei Dehnung des Muskels - im Fall der Unterarmbeuger also in Streckstellung des Ellenbogengelenks - rund 57 % mehr als in mittlerer Beugestellung (FRANKE, 1920). Dabei wirkt diese größere Muskelkraft bei einem kleineren Muskelquerschnitt. Der Muskelquerschnitt ist in Streckstellung 34 % kleiner als in 90^{o} Beugestellung (IKAI, 1968). Um zu dem Wert der absoluten Muskelkraft zu kommen, müßte man den errechneten Kraftwert verdoppeln. Bildet man den Mittelwert der beiden Versuchsreihen der Erwachsenen, ergibt sich der Quotient $\frac{297\ kp}{48\ cm^2} = 6{,}1\ kp/cm^2$.

ZUSAMMENFASSUNG

IKAI errechnete den Wert der *absoluten Muskelkraft* mit rund 6,5 kp/cm^2. Unsere überschlägsmäßige Korrektur führt zu einem Wert von 6,1 kp/cm^2. Wegen der oben angegebenen Problematik empfiehlt sich eine erneute Untersuchung.

Zusammengefaßte Ergebnisse

	Gewicht	Faser-länge	Volumen	Physiologischer Querschnitt	Last	Last-arm	Kraft-arm	Lastarm / Kraftarm	Muskelkraft	"Drehmoment" d. Kraft	Absolute Muskelkraft
	g	cm	cm^3	cm^2	kp	mm	mm	$\frac{mm}{mm}$	kp	cm^3	$\frac{kp}{cm^2}$
WEBER, 1846											
m. gastrocnemius	353	5,5-5,8		59,3				$\frac{129}{43}$			
m. soleus	372	3,8		93,1							
m. plantaris	10	6,8		1,4							
Summe (Fußbeuger)	735			153	215,3	129	43		646		4,22
HENKE, 1865											
m. brachioradialis	56	20,1	53	2,6			5			13	
m. brachialis	131	9,7	125	12,9			2,5			31,2	
m. biceps	152	16 - 20	145	8,4			5,5			46,2	
m. pronator teres	32	10,3	30	2,9			1			2,9	
Summe (Unterarmbeuger)	371		353	26,8	38	30			220	93,3	8,2
m. extensor digitorum longus	52	9,6	50	5,2			3,6			18,7	
m. extensor hallucis longus	22	11,6	21	1,8			4			7,2	
m. tibialis anticus	146	9,8	139	14,2			4,1			58,2	
Summe (Fußheber)	220		210	21,2	43,5	12			110	84,1	5,2

	Gewicht	Faser-länge	Volumen	Physiologischer Querschnitt	Last	Last-arm	Kraft-arm	Lastarm / Kraftarm	Muskelkraft	"Drehmoment" d. Kraft	Absolute Muskelkraft
	g	cm	cm^3	cm^2	kp	mm	mm	$\frac{mm}{mm}$	kp	cm^3	$\frac{kp}{cm^2}$
KOSTER, 1867											
m. gastrocnemius				31			3,5			108,5	
m. soleus				30			3,5			105	
m. plantaris				1,4			3,5			4,9	
m. tibialis posticus				3,6			0,5			1,8	
mm. peronei				7,0			1,4			9,8	
Summe (Fußbeuger)				73	104	129			423	230	5,8
Unterarmbeuger				26,8	35,9	30	s. Henke		101		3,8

	Anatomischer Querschnitt	Physiologischer Querschnitt	Last	Lastarm	Kraftarm	Lastarm / Kraftarm	Muskelkraft	Absolute Muskelkraft
	cm^2	cm^2	kp	mm	mm	$\frac{mm}{mm}$	kp	$\frac{kp}{cm^2}$
HERMANN, 1898								
m. gastrocnemius		38,9						
m. soleus		74						
m. plantaris		1,8						
Summe (Fußbeuger)		114,7	238,7			3 : 1	716,1	6,24
REYS, 1915								
m. gastrocnemius		50,1						
m. soleus		58,7						
m. plantaris		1,8						
Summe (Fußbeuger)		110,6	186	129	43	129/43	580,4	5,6
VON RECKLINGHAUSEN, 1920								
m. flexor sublimis digiti III		3,3	8	23	8,5		21,6	6,5
FRANKE, 1920								
m. triceps	21,4			150	21,6		387	18,1
m. biceps	9				45,1		99,3	10,9
m. brachialis	9,4				35,6		108	11,4

	Anatomischer querschnitt	Physiologischer Querschnitt	Last	Lastarm	Kraftarm	Lastarm / Kraftarm	Muskelkraft	Absolute Muskelkraft
	cm^2	cm^2	kp	mm	mm	$\frac{mm}{mm}$	kp	$\frac{kp}{cm^2}$
HAXTON, 1944								
m. gastrocnemius								
m. plantaris								
m. soleus								
summe (Fußbeuger)	86	113	165			2,67 : 1	438	3,9
MORRIS, 1948								
m. biceps + m. brachialis		22,1		285	39		202,5	9,1
m. brachioradialis		4,9		285	69		44,6	9,1
m. triceps		23,4		285	18		359,6	15,4
IKAI, 1968								
m. biceps + m. brachialis	23,7		31			4,8 : 1	148,6	6,3

Tabelle 25:

Zusammengefaßte Ergebnisse der 12 Autoren, welche die absolute Muskelkraft bestimmt haben

Muskel	Zahl der Vpn	Autor	Jahreszahl	absolute Muskelkraft K. (kp/cm^2)	
				Wert des Autors	korrigierter Wert
Fußbeuger	3	WEBER	1846	1,0	6,1
	8	KOSTER	1867	11,6	5,8
	1	HERMANN	1898	6,2	5,8
	3	REYS	1915	5,6	5,4
	6	HAXTON	1944	3,9	
Fußheber	8	HENKE	1865	5,2	
Fingerbeuger	1	VON RECKLING-HAUSEN	1920	3,5	6,5
Kaumuskeln	6	ROSENTHAL	1895	9-10	
Unterarm-beuger	8	HENKE	1865	8,2	
	8	KOSTER	1867	3,8	
	3	FRANKE	1920	11	
	24	MORRIS	1948	9,1	
	28	HETTINGER	1960	4,0	
	245	IKAI	1968	6,3	6,1
Unterarm-strecker	3	FRANKE	1920	18,1	
	24	MORRIS	1948	15,4	
Unterschen-kelstrecker	24	MORRIS	1948	5,1	
Unterschen-kelbeuger	24	MORRIS	1948	7,8	

Tabelle 26

Werte der absoluten Muskelkraft Ka von 12 Autoren

4.) DISKUSSION

Die Durchsicht der Literatur hat ergeben, daß 12 Autoren die absolute Muskelkraft bestimmt haben (Tab. 26). 6 weitere Autoren haben eine Methode zur Ermittlung des Muskelquerschnittes an der Leiche angegeben, ohne Berechnung der absoluten Muskelkraft.

Tabelle 26

Werte der absoluten Muskelkraft Ka von 12 Autoren

Es zeigt sich eine auffallend große Streuung der absoluten Muskelkraft. Entweder beweist dies, daß es keinen Einheitswert gibt, oder es wurden bei den Untersuchungen Fehler gemacht. Die einzelnen Arbeiten sollen daraufhin untersucht werden. Wir gehen von unserer Definition der absoluten Muskelkraft aus: „Die absolute Muskelkraft ist die Maximalkraft bei Willkürkontraktion des Muskels bei maximaler physiologischer Dehnung, bezogen auf die Einheit des Muskelquerschnittes von 1 cm^2 in dieser Stellung." Die Untersuchungen müssen folgende Voraussetzungen erfüllen:

4.1 Die Lastbestimmung soll unter isometrischen Bedingungen erfolgen.

Diese Forderung wurde von den 12 Autoren berücksichtigt. Durch Gewichte ermittelten die Last WEBER, HENKE, KOSTER, ROSENTHAL, HERMANN, REYS. Mittels Federdynamometer arbeiteten VON RECKLINGHAUSEN, FRANKE, HAXTON, MORRIS. Die genauesten Ergebnisse liefert das Dehnungsmeßstreifenverfahren von HETTINGER sowie IKAI und FUKANAGA.

4.2 Die aufgewandte Muskelkraft kann nur durch die exakte Messung der Hebelarme der Kraft und der Last errechnet werden.

Ein Fehler unterlief dabei WEBER, der einen 4mal zu großen Kraftarm annahm. Die Messung der Kraft der Fußbeuger im Stand ist problematisch (WEBER, KOSTER, REYS, 1. Versuchsanordnung). Beim Heben der Ferse verlagert sich die Schwerelinie von der Fußgelenkachse nach vorne in die Ballenauftrittsfläche, das Drehmoment der Last wird Null. Damit gelten die Hebelverhältnisse nicht mehr, d.h. es wird nicht die Last mit den gemessenen Hebelarmen des Fußes gehoben. Die Fußbeuger haben dabei nur die Aufgabe, das infolge der Schwerpunktsverlagerung eintretende Drehmoment von Körpergewicht und Last auszugleichen. Es ergeben sich also keine verwertbaren Zahlen.
Bessere Bedingungen bei der Kraftbestimmung der Fußbeuger bietet die Methode im Sitzen (HERMANN, REYS, 2. Versuchsanordnung; HAXTON).

4.3 Bei der Berechnung der absoluten Muskelkraft sind alle Muskeln zu berücksichtigen, die an der Kraftentfaltung beteiligt sind.

4.31. Es gibt 6 F u ß b e u g e r . Die mm. gastrocnemius, soleus und plantaris haben einen gemeinsamen Hebelarm von im Durchschnitt 35 mm. Das ist der Ansatz der Achillessehne am Fersenbein. Der m. tibialis posterior hat einen Hebelarm von 5 mm und die mm. peronei von 14 mm. Diese 3 Muskeln machen etwa 15% des Querschnittes und etwa 5% des Gesamtdrehmomentes der Fußbeuger aus. Lediglich KOSTER hat dies berücksichtigt. WEBER, HERMANN, REYS, HAXTON, haben den Querschnitt und das Drehmoment dieser 3 Muskeln vernachlässigt.

4.32. Es gibt 5 U n t e r a r m b e u g e r ,die mm. biceps, brachialis, brachioradialis, pronator teres, extensor carpi radialis. Diese Muskeln weisen unterschiedliche Hebelarme auf (Tab. 2 HENKE). FRANKE berechnete den Kraftanteil des m. biceps und des m. brachialis, MORRIS den des m. biceps + m. brachialis und des m. brachioradialis an der Gesamtbeugekraft. IKAI dagegen setzte die Kraft des m. biceps + m. brachialis und HETTINGER sogar allein die Kraft des m. biceps mit der Gesamtbeugekraft des Unterarmes gleich. HETTINGER gab keine Hebelwerte an, sodaß anzunehmen ist, daß er den L a s t w e r t aller Unterarmbeuger mit dem K r a f t w e r t des m. biceps gleichsetzte.

4.33. Bei allen Kraftmessungen, bei denen außer der Last der Körper oder ein Körperteil mitgehoben werden muß, muß dieses Gewicht (Körper- bzw. Gliedergewicht) mitberücksichtigt werden, da ein zusätzliches Drehmoment des Lastgewichtes auftritt. Dies wurde von HETTINGER nicht berücksichtigt.

4.4 Bei gefiederten Muskeln muß bei der Kraftberechnung der Fiederungswinkel berücksichtigt werden.

Handelt es sich um gefiederte Muskeln, so muß die resultierende Muskelkraft errechnet werden: $Kr = \frac{Ks}{\cos \alpha}$. Bei einem Fiederungswinkel von z.B. 13° (m. gastrocnemius) ist die resultierende Kraft Kr nur 2,5% größer als die Sehnenkraft. Bei einem Fiederungswinkel von z.B. 30° ist die resultierende Kraft Kr jedoch um 50% größer, da der cosinus von 30° 0,5 ist ($Kr = \frac{Ks}{0,5}$).

4.5 Es muß der physiologische Muskelquerschnitt der Vp bestimmt werden.

Der Muskelquerschnitt zeigt von Mensch zu Mensch große Schwankungen (m. gastrocnemius z.B. von 31 cm^2 (KOSTER) bis 59 cm^2 (WEBER), m. biceps + m. brachialis von 16 cm^2 (FRANKE) bis 27 cm^2 (IKAI)). Es ist daher nicht zulässig, die Querschnittswerte einer Vp auf eine andere zu übertragen, oder von Leichen auf Lebende. Die Messung des physiologischen Muskelquerschnittes am entnommenen Leichenmuskel bereitet keine große Schwierigkeit. Die Schwierigkeit besteht einmal in der Umrechnung von an Leichen ermittelten Werten auf die lebende Vp, zum anderen in der Bestimmung des Muskelquerschnittes direkt an der Vp. Unbrauchbar sind die Ergebnisse der Arbeiten, in denen an Leichen gewonnene Muskelquerschnittswerte ohne Umrechnung auf die Vp übertragen wurden (WEBER, HENKE, KOSTER, HERMANN, REYS). Wird der Querschnitt am entnommenen Leichenmuskel bestimmt, so besteht völlige Entspannung, wie sie beim Lebenden nie vorkommt. Der Muskelquerschnitt vergrößert sich in situ bei Übergang von voller Dehnung zu 90°- Beugestellung um 34% (IKAI). Bei Übergang von 90°- Beugestellung zu völliger Entspannung (Entnahme) vergrößert sich der Querschnitt noch einmal um 28% (HAINES, zit. n. HAXTON). Es wird also ein maximaler Muskelquerschnitt zugrunde gelegt, der am Lebenden niemals vorkommt. WEBER z.B. mußte mit 109 cm^2 statt mit 153 cm^2 rechnen.

FRANKEs Methode, durch Analogieschluß

$$\left(\frac{\text{Qa der Leiche}}{(\text{Armumfang der Leiche})^2} = \frac{\text{Qa der Vp}}{(\text{Armumfang der Vp})^2}\right)$$

den Muskelquerschnitt der Vp zu bestimmen, erscheint als gangbarer Weg. So erhält man jedoch nur den anatomischen Muskelquerschnitt. HAXTON zeigt als Erster eine Möglichkeit, den a n a t o m i s c h e n Muskelquerschnitt direkt an der Vp zu bestimmen: $Qa = \frac{U^2}{4\pi}$. Weiterhin gab er eine Methode an, um aus dem so errechneten anatomischen Querschnitt den p h y s i o l o g i s c h e n Muskelquerschnitt der Vp zu bestimmen. Er bestimmte an der L e i c h e das Verhältnis von anatomischem zu physiologischem Querschnitt. Diesen Faktor wandte er auch am Lebenden an. Multipliziert man den errechneten anatomischen Querschnitt der Vp mit diesem Faktor, so erhält man den physiologischen Muskelquerschnitt der Vp. Die Schwierigkeit bei den Methoden von FRANKE und HAXTON liegt in der Bestimmung des anatomischen Muskelquerschnittes.

MORRIS hat den Gliederquerschnitt an der Vp durch äußere Messungen bestimmt unter der Voraussetzung, daß der Extremitätenquerschnitt Ellipsenform hat. Nach den Angaben von MORTON und LAMBERT wurde der prozentuale Anteil der einzelnen Muskeln am Gesamtquerschnitt der Extremität errechnet. So ermittelte MORRIS den a n a t o m i s c h e n Muskelquerschnitt direkt an der Vp. Bei gefiederten Muskeln wurde dem so ermittelten anatomischen Querschnitt ein „gewisser" Prozentsatz hinzugefügt, um den physiologischen Querschnitt zu erhalten. MORRIS hat nicht angegeben, wie sie diesen von Muskel zu Muskel verschiedenen Prozentsatz errechnet hat.

HETTINGER gibt an, den Querschnitt des m. biceps durch Umfangmessung des Oberarmes an der Vp direkt bestimmt zu haben. Die Methode wird nicht erläutert, und es wird nicht angegeben, welchen prozentualen Anteil der m. biceps am gesamten Oberarmquerschnitt hat, zudem werden keine Einzelwerte angegeben.
Mit der Ultraschallmethode wurde von IKAI und FUKANAGA die mit Abstand beste Methode zur Bestimmung des a n a t o m i s c h e n Muskelquerschnittes an der Vp angegeben. IKAI hat als einziger den Querschnitt an jeder Vp g e m e s s e n , während die anderen Autoren den Querschnitt b e r e c h n e t e n . Da die mm. biceps + brachialis nicht gefiedert sind, war dies gleichzeitig der physiologische Muskelquerschnitt. Bei gefiederten Muskeln müßte eine Umrechnung vorgenommen werden. HAXTON und MORRIS zeigen dazu Möglichkeiten auf. Die Methode von HAXTON ist richtig, wenn das Verhältnis Qa : Qp bei Leichen und bei Lebenden gleich ist. Dies ist nicht bewiesen. Die Methode von MORRIS, durch einen prozentualen Zuschlag aus dem anatomischen den physiologischen Muskelquerschnitt zu berechnen, wäre sehr einfach. Dieser „Zuschlag" wird von MORRIS jedoch nicht erklärt. Zur Bestimmung zumindest des a n a t o m i s c h e n Muskelquerschnittes direkt am Lebenden wird die Ultraschallmethode in Zukunft jedoch die Methode der Wahl sein.

4.6 Kraft und Querschnitt müssen bei derselben Muskellänge, und zwar bei gedehntem Muskel bestimmt werden.

Der Muskel hat bei physiologischer Dehnung gleichzeitig seine größte Kraft und seinen kleinsten Querschnitt. Mit der Verkürzung nimmt die Kraft ab, während der Querschnitt zunimmt. Beide Faktoren bewirken, daß die absolute Muskelkraft mit der Verkürzung kleiner wird. Die Kraft wurde von keinem Autor am gedehnten Muskel bestimmt, vielmehr wählten alle eine Mittelstellung des Gelenkes, bei welcher die Muskeln bereits verkürzt sind, also eine geringere Kraft haben. Lediglich REYS rechnete auf die Kraft bei Dehnung um (die Kraft der Fußbeuger ist bei 78° Dorsalflexion um $\frac{6}{87}$ größer als bei 90° Stellung des Gelenkes). Die Querschnittsbestimmung wurde von ihm allerdings nicht an der Vp vorgenommen. Den Querschnitt ermittelte nur IKAI am gedehnten Muskel. Die Kraft wurde von ihm jedoch bei mittlerer Muskellänge gemessen. Kraft und Querschnitt wurden also von keinem Autor bei gedehnter Muskellänge bestimmt. Bei derselben Muskellänge, wenn auch nicht bei gedehntem Muskel, bestimmten HAXTON und IKAI die absolute Muskelkraft. IKAI rechnete dazu den in Streckstellung gemessenen Querschnitt auf Mittelstellung um, also die Stellung, in der die Kraft gemessen wurde.

Ausgehend von der Diskussion sollen folgende Fragen beantwortet werden:

4.7 Gibt es einen Einheitswert der absoluten Muskelkraft für einen bestimmten Muskel aller Menschen?

VON RECKLINGHAUSEN schreibt, die absolute Muskelkraft habe für alle Menschen denselben Wert. FICK R. sagt, sie unterliege großen Schwankungen. Beide geben keine Begründung an. HAXTON und IKAI haben die Maximalkraft zwar nicht bei kleinstem Querschnitt bestimmt, sodaß ihr Wert für die absolute Muskelkraft nicht beweiskräftig ist. Sie zeigen jedoch, daß die Kraft pro Querschnittseinheit für eine bestimmte Muskelgruppe für jeden Menschen denselben Wert hat. HAXTON erhielt bei 6 Vpn für die Fußbeuger (rechts und links) einen Wert von 3,9 kp/cm^2, IKAI und FUKANAGA bei 245 Vpn für die Unterarmbeuger einen Wert von 4,7 kp/cm^2 als absolute Muskelkraft. IKAI zeigte in der bisher größtangelegten Untersuchung, daß die Kraft pro Querschnittseinheit unabhängig ist von Alter, Geschlecht und Trainingszustand der Vp.
1961 - also vor den Untersuchungen über die absolute Muskelkraft - kam IKAI für Sportler und Nichtsportler jedoch zu einem anderen Ergebnis.
Die Muskelkraft wird bei größtmöglicher, willkürlicher Muskelkontraktion bestimmt. Der Muskel verfügt allerdings über Leistungsreserven, die durch Willkürkontraktion normalerweise nicht zu mobilisieren sind. IKAI zeigte, daß die Reserven in Hypnose und Streßsituationen mobilisiert werden können. Die Muskelkraft steigt dabei bis zu 30% über den Kontrollwert, bei Sportlern jedoch nur bis zu 10%. Bei Sportlern ist also die Leistungsgrenze verschoben, die Kraft jedoch immer noch vom Querschnitt abhängig. Die absolute Muskelkraft müßte demnach bei Sportlern höher liegen. Für die Versuche von 1961 liegen leider keine Querschnittswerte vor. Bei den Versuchen von 1968 erhalten IKAI und FUKANAGA jedoch keinen Unterschied zwischen der absoluten Muskelkraft von Sportlern und Nichtsportlern. Sie weisen sogar ausdrücklich darauf hin,

daß kein Unterschied bestehe (Tab. 24).

4.8 Gibt es einen Einheitswert der absoluten Muskelkraft für alle Muskeln des Menschen?

Ob die absolute Muskelkraft für alle Muskeln des Menschen denselben Wert aufweist, ist bislang nicht erwiesen. Die meisten Autoren haben nur eine Muskelgruppe untersucht. Lediglich MORRIS hat mehrere Muskeln (Unterarmbeuger, Unterarmstrecker, Unterschenkelbeuger, Unterschenkelstrecker) untersucht. Es werden zwar von MORRIS Ergebnisse angegeben, die sehr unterschiedlich sind (3-18 kp/cm^2), doch fehlen Einzelwerte. Die Ergebnisse von MORRIS sind also nicht beweiskräftig. FRANKE, der für die absolute Muskelkraft des m. triceps einen Wert von 18 kp/cm^2 erhielt (m. biceps und m. brachialis 11 kp/cm^2), rechnete ebenfalls mit dem anatomischen Muskelquerschnitt. HAXTON und IKAI und FUKANAGA, welche Kraft und Querschnitt bei derselben, allerdings m i t t l e r e n Muskellänge bestimmten, erhielten für verschiedene Muskeln (HAXTON: Fußbeuger 3,9 kp/cm^2; IKAI und FUKANAGA: Unterarmbeuger 4,7 kp/cm^2) Werte, die relativ nahe beieinander liegen. HETTINGER erhielt für die Unterarmbeuger sogar denselben Wert wie HAXTON für die Fußbeuger, doch sind diese Ergebnisse nicht belegt. Die Ergebnisse von HAXTON und IKAI und FUKANAGA lassen jedoch vermuten, daß die einzelnen Muskeln des Menschen k e i n e unterschiedliche absolute Muskelkraft aufweisen. Zur Klärung dieser Frage sind jedoch Reihenuntersuchungen an einer genügend großen Anzahl von Vpn notwendig.

Es sollte mit derselben Methode die absolute Muskelkraft verschiedener Muskeln an jeder Vp bestimmt werden.

4.9 Welcher Wert kann für die absolute Muskelkraft angegeben werden?

Über die Größe der absoluten Muskelkraft kann heute noch keine endgültige Aussage gemacht werden, da kein Autor alle Kriterien berücksichtigt hat. Um Klarheit darüber zu erhalten, wie groß die absolute Muskelkraft (nach unserer Definition) ist, und ob sie für alle Muskeln aller gesunden Menschen denselben Wert aufweist, wären weitere Untersuchungen wünschenswert, die die genannten Voraussetzungen erfüllen:
eine genügende Anzahl von Vpn,
die Untersuchung mehrerer Muskelgruppen und
die Bestimmung von Kraft und Querschnitt am gedehnten Muskel bei jeder Vp.

5.) ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der Literatur werden die Veröffentlichungen über die Bestimmung der absoluten Muskelkraft untersucht und diskutiert. Als Definition schlagen wir vor: „Die absolute Muskelkraft ist die Maximalkraft bei Willkürkontraktion des Muskels bei maximaler physiologischer Dehnung, bezogen auf die Einheit des Muskelquerschnittes von 1 cm^2 in dieser Stellung."

Die absolute Muskelkraft wurde von 12 Autoren an 8 Muskelgruppen bestimmt (Tab. 26). Die sehr großen Unterschiede sind in methodischen Fehlern begründet. Es werden die Voraussetzungen für eine exakte Bestimmung der absoluten Muskelkraft angegeben. Die Autoren haben einzelne Kriterien nicht berücksichtigt. Es zeigt sich, daß die Kraftbestimmung relativ einfach durchgeführt werden kann. Die große Schwierigkeit liegt in der Ermittlung des physiologischen Muskelquerschnittes der Vp. Die einzige M e ß methode des anatomischen Querschnittes an der Vp geben IKAI und FUKANAGA an. Mit Hilfe des Umrechnungsfaktors von HAXTON kann dadurch der physiologische Muskelquerschnitt bei der Vp ermittelt werden.

Den untersuchten Arbeiten ist folgendes zu entnehmen:

1.) Keine Arbeit erfüllt alle Voraussetzungen, sodaß kein Wert für die absolute Muskelkraft angegeben werden kann.

2.) Die absolute Muskelkraft eines bestimmten Muskels ist für jeden Menschen gleich (HAXTON, IKAI und FUKANAGA).

3.) Die absolute Muskelkraft aller Muskeln ist „wahrscheinlich" gleich (HAXTON, IKAI). Eine endgültige Klärung dieser Frage, insbesondere der Größe der absoluten Muskelkraft, können nur neue Untersuchungen bringen, welche die in dieser Arbeit angegebenen Kriterien berücksichtigen.

6.1 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1

Faserlänge h, Gewicht G und physiologischer Querschnitt Qp der Fußbeuger an 2 Leichen (WEBER, 1846)

Tabelle 2

Faserlänge h, Gewicht G, physiologischer Querschnitt Qp und Kraftarm k der Unterarmbeuger und Fußheber einer Leiche (HENKE, 1865)

Tabelle 3

Lastwerte L bei der Kraftbestimmung der Unterarmbeuger bei 8 Vpn (HENKE, 1865)

Tabelle 4

Lastwerte bei der Kraftbestimmung der Fußheber bei 8 Vpn (HENKE, 1865)

Tabelle 5

Lastwerte L bei der Kraftberechnung der Fußbeuger bei 8 Vpn (KOSTER, 1867)

Tabelle 6

Physiologischer Querschnitt Qp und Kraftarme k der Fußbeuger einer Leiche (KOSTER, 1867)

Tabelle 7

abgelesene Lastwerte bei der Kraftberechnung der Unterarmbeuger bei 8 Vpn (KOSTER, 1867)

Tabelle 8

Physiologischer Querschnitt Qp der über das Hüftgelenk hinwegziehenden Muskeln (BUCHNER, 1877)

Tabelle 9

Physiologischer Querschnitt Qp der Fußbeuger einer Leiche (HERMANN, 1898)

Tabelle 10

Querschnittswerte Qa der Armmuskeln von 2 Leichen (GROHMANN, 1902)

Tabelle 11

Physiologischer Querschnitt Qp und Gewicht G der Fußbeuger einer Leiche (REYS, 1915)

Tabelle 12

Natürliche Länge l, natürlicher Querschnitt Qp, Kraft K und absolute Muskelkraft Ka des m. flexor sublimis digiti III (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

Tabelle 12 a

Lastwerte L, Hebelarme der Last l, Hebelarme der Kraft k, Kraftwerte K bei gedehntem Muskel und danach berechneter Wert der absoluten Muskelkraft Ka (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

Tabelle 13

Hebelarme des m. triceps, m. biceps und m. brachialis von 3 Vpn aus Rö.-Fotogrammen berechnet (FRANKE, 1920)

Tabelle 14

Verkürzung des m. triceps beim Durchlaufen der Beugewinkel 50° - 180° (FRANKE, 1920)

Tabelle 15

Lastwerte L, Kraftwerte K, % des Maximums = Kraft des Muskels bei dem betreffenden Winkel, bezogen auf die größte Kraft (FRANKE, 1920)

Tabelle 16

Anteil des m. brachialis und des m. biceps (berechnet nach FISCHER) an dem bei den verschiedenen Winkelgraden am Dynamometer gefundenen Lastwert der Unterarmbeuger (FRANKE, 1920)

Tabelle 17

Anatomischer Querschnitt Qa der Unterarmbeuger und des Unterarmstreckers (FRANKE, 1920)

Tabelle 18

Werte der absoluten Muskelkraft Ka bei den 3 Vpn für die mm. biceps, triceps, brachialis (FRANKE, 1920)

Tabelle 19

Abgelesener Lastwert L, Muskelkraft K, Muskelquerschnitt Qrp und absolute Muskelkraft Ka der Fußbeuger bei 6 Vpn (HAXTON, 1944)

Tabelle 20

Kraftarm k, Lastarm l, Kraft K, physiologischer Querschnitt Qp und absolute Muskelkraft Ka von 28 Vpn (MORRIS, 1948)

Tabelle 21

Flächen einer Ellipse von Achsenverhältnis 4 : 5 bei gegebenem Umfang (LIPPERT, 1959)

Tabelle 22

Physiologischer Querschnitt Qp fast aller Muskeln bei 21 Leichen (SCHUMACHER, 1966)

Tabelle 23

Anatomischer Querschnitt Qa, Kraft K und absolute Muskelkraft Ka der Unterarmbeuger bei 12 "normalen" Erwachsenen und 9 trainierten Judokämpfern (IKAI und FUKANAGA, 1968)

Tabelle 24

Absolute Muskelkraft Ka der Unterarmbeuger bei "normalen" Erwachsenen und bei trainierten Judokämpfern nach Korrektur der Querschnittswerte (Nach IKAI und FUKANAGA, 1968)

Tabelle 25

Zusammengefaßte Ergebnisse der 12 Autoren, welche die absolute Muskelkraft bestimmt haben

Tabelle 26

Werte der absoluten Muskelkraft Ka von 12 Autoren

6.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1

Die Zugkraft von 4 parallel geschalteten Gummifäden ist 4 mal größer als die Zugkraft von 4 hintereinander geschalteten gleich dicken Gummifäden

Abbildung 2

Die Beziehung zwischen resultierender Muskelkraft Kr und Muskelkraft in Sehnenrichtung Ks bei gefiederten Muskeln

Abbildung 3

Die Beziehung zwischen anatomischem Querschnitt Qa und physiologischem Querschnitt Qp bei gefiederten Muskeln

Abbildung 4

Der physiologische Muskelquerschnitt Qp bei gefiederten Muskeln großer Länge

Abbildung 5

Lastwert (kp),Muskelkraft (kp) und Hebelarme (mm) bei der Versuchsanordnung von WEBER, E. (1846)

Abbildung 6

Meßbrett nach BUCHNER (1877)

Abbildung 7

Lastwert (kp), Muskelkraft (kp) und Hebelarme (mm) bei der Versuchsanordung von REYS (1915)

Abbildung 8

Die Berechnung des physiologischen Muskelquerschnittes aus Muskeloberfläche O und Sinus des Fiederungswinkels(REYS, 1915)

Abbildung 9

Die Versuchsanordnung bei VON RECKLINGHAUSEN zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft an dem m. flexor sublimis digiti III (VON RECKLINGHAUSEN, 1920)

Abbildung 10

Lastkurven der Beuger und Strecker des Ellenbogengelenkes von 3 Vpn (FRANKE, 1920)

Abbildung 11

Hebelarme des m. triceps (a und b), m. biceps (c) und m. brachialis (d) (FRANKE, 1920)

Abbildung 12

Die Hebelarme (k_1, k_2, k_3) der Kraft bei verschiedenem Gelenkwinkel

Abbildung 13

Verkürzung des m. triceps (mm) beim Durchlaufen der Beugewinkel (180° - 50°), Mittelwert einer Vp, einer Leiche und eines Modells (FRANKE, 1920)

Abbildung 14

Kurven der wirklichen Kraft (kp) des m. triceps für 3 Vpn bei verschiedenen Gelenkstellungen (170° - 40°). Die Muskelverkürzung ist auf der Abszisse abgetragen (FRANKE, 1920)

Abbildung 15 a und b

Kurve der wirklichen Kraft (kp) des m. brachialis und des m. biceps für 3 Vpn bei verschiedenen Gelenkstellungen (170° - 50°) (FRANKE, 1920)

Abbildung 16

Versuchsanordnung von HAXTON (1944)

Abbildung 17

Die Hebelverhältnisse bei der Versuchsanordnung von HAXTON (1944)

Abbildung 18

Schema der Ultraschallmessung (IKAI und FUKANAGA, 1968)

Abbildung 19

Querschnittsbild des menschlichen Oberarmes durch Ultraschallmessung (IKAI und FUKANAGA, 1968)

7.) LITERATURVERZEICHNIS

1. BECK, O.: Die gesamte Kraftkurve des tetanisierten Froschgastrocnemius und ihr physiologisch ausgenutzter Anteil.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 193, (1922): 495-526

2. DU BOIS-REYMOND: Ergebnisse der Physiol. 2, (1903): 623

3. BRAUNE und FISCHER: zit. nach FRANKE

4. BUCHNER, H.: Kritische und experimentelle Studien über den Zusammenhalt des Hüftgelenks während des Lebens in allen normalen Fällen.
Arch. f. Anat. u. Physiol., (1877): 22-45

5. CLARK, G.: A Method of Computing the Cross-Section of the Chest for Children at Seven, Eight, and Nine Years.
Human Biology 4, (1930): 539-546

6. FICK, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke unter Berücksichtigung der bewegenden Muskeln. Allgemeine Gelenk- und Muskelmechanik.
Verlag G. Fischer, Jena 1910, 286-306

7. " Übersicht über die Fragen der Gelenk- und Muskelmechanik.
Z. für Orthop. Chirurgie 51, (1929): 320

8. FISCHER, O.: Die Arbeit der Muskeln und die lebendige Kraft des menschlichen Körpers.
Abhandlungen der math.-physischen Classe der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, 20, (1893)

9. -- Theoretische Grundlagen für eine Mechanik der lebenden Körper.
Verlag B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 19

10. FRANKE, F.: Die Kraftkurve menschlicher Muskeln bei willkürlicher Innervation und die Frage der absoluten Muskelkraft.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 184, (1920): 300-322

11. GANS, H.: Versuche zur Bestimmung des physiologischen Querschnittes von Muskeln.
Med. Diss. Würzburg 1905

12. GROHMANN, F.W.: Über die Arbeitsleistung der am Ellenbogengelenk wirkenden Muskeln.
Arch. f. Anat. u. Physiol., (1902): 315-329

13. HAINES : zit. nach HAXTON

14. HAXTON, H.A.: ABSOLUTE MUSCLE FORCE IN THE ANKLE FLEXORS OF MAN.
J. Physiol. (London) 103, (1944): 267-273

15. HENKE, W.: Die Größe der absoluten Muskelkraft aus Versuchen neu berechnet. Dissertation von F. KNORZ, mitgetheilt von W. HENKE
Z. f. rat. Med., 3. R. 24, (1865): 247-260

16. HERMANN, L.: Zur Messung der Muskelkraft am Menschen.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 73, (1898): 429-437

17. HETTINGER, Th.: Die Muskelkraft bei Frauen und Männern.
Zbl. Arbeitswiss. 14, (1960): 72-84

18. -- Isometrisches Muskeltraining
Verlag G. Thieme, Stuttgart 1964

19. IKAI. M. und STEINHAUS, A.H.: Some factors modifying the expression of human strength.
J. appl. Physiol. 16, (1961): 157-163

20. -- und FUKANAGA, T.: Calculation of Muscle Strength per Unit Cross-Sectional Area of Human Muscle by Means of Ultrasonic Measurement.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 26, (1968): 26-32

21. VON JOHNSON, J.: zit. nach DU BOIS-REYMOND.

22. KNORZ, F.: Ein Beitrag zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft.
Med. Diss. Marburg 1865, zit. nach HENKE, W.

23. KOSTER, W.: Nederlandsch Archief voor Geneeskunde en Naturkunde 3, (1867): 31-47

24. VON LANZ, T. und HENNING, A.: Die Rollwirkung des M. iliopsoas und Femurtorsion.
Z. f. Anat. u. Entw.-Gesch. 117, (1953/54): 382-409

25. LIPPERT, H.: Zur Methodik der Muskelquerschnittsmessung.
Anat. Anzeiger 106, (1959): 299

26. MORRIS, C.B.: The Measurement of the Strength of Muscle Relative to the Cross Section.
Res. Quart. Amer. Ass. Hlth. phys. Educ. 19, (1948): 295-303

27. MORTON, D.: Manual of Human Cross Section Anatomy.
zit. nach MORRIS

28. PFUHL, W.: Die gefiederten Muskeln, ihre Form und ihre Wirkungsweise.
Z. f. Anat. u. Entw.-Gesch. 106, (1937): 749

29. VON RECKLINGHAUSEN, H.: Gliedermechanik und Lähmungsprothesen.
Verlag J. Springer, Berlin 1920

30. REYS, J.H.O.: Über die absolute Kraft der Muskeln im menschlichen Körper.
Pflügers Arch. Physiol. 160,(1915): 183-204

31. -- Über die Veränderung der Kraft während der Bewegung.
Pflügers Arch. Physiol. 191, (1921): 234

32. ROHMANN, E.: Struktur- und Funktionsanalysen der oberflächlichen Flexoren des Unterschenkels.
Med. Diss. Rostock 1963

33. ROSENTHAL, J.: Über die Kraft der Kaumuskeln.
Sb. d. Physik.- med. Societ. in Erlangen, 27, (1895/96): 85-87

34. SCHINDLER, D.: Strukturanalyse, Kraft und Arbeitsfähigkeit des m. pronator teres und des m. pronator quadratus.
Med. Diss. München 1953

35. SCHUMACHER, G.H.: Funktionelle Muskelanalysen.
Z. med. Labortechnik 1, (1960): 90-96

36. -- und WOLFF, E.: Trockengewicht und physiologischer Querschnitt der menschlichen Skelettmuskulatur.
Anat. Anz. 118, (1966): 1-14, 317-330

37. SCHWANN : zit. nach WEBER

38. WEBER, E.: Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie, 3. Bd. 2. Abt., 1-122: Muskelbewegung. Verlag F. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1846

Herrn Prof. Dr. H. Groh danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche, tatkräftige Unterstützung, die er mir jederzeit gewährte.

Lebenslauf

Am 19. Juni 1941 wurde ich als Sohn des Architekten Alois Havener und seiner Ehefrau Maria, geb. Horst, in Saarlouis geboren.
Nach vierjähriger Volksschulzeit in Saarlouis besuchte ich von 1951 bis zur Reifeprüfung 1960 das Humanistische Gymnasium in Saarlouis. Nach einjähriger Wehrdienstzeit begann ich 1961 in München mit dem Studium der Zahnheilkunde. Die zahnärztliche Vorprüfung legte ich in Freiburg ab, und am 23. November 1966 bestand ich in Homburg/Saar das Staatsexamen mit der Note gut. Am 30. November 1966 erhielt ich die Bestallung als Zahnarzt.
Nach zweijähriger Assistentenzeit in Saarbrücken ließ ich mich im April 1969 in Riegelsberg/Saar als selbständiger Zahnarzt nieder.
Seit 1966 bin ich mit der Lehrerin Gudrun Montada verheiratet, wir haben einen dreijährigen Sohn.